

## 明 細 書

### 絶縁劣化診断装置

#### 技術分野

- [0001] 本発明は、高圧系統に接続された高圧送電機器（電力ケーブル等）の絶縁劣化を診断する装置に関し、より詳細には、高圧送電機器の接地線を通る放電電流に基づいて、高圧送電機器の内部で生じた部分放電を測定する診断装置に関する。

#### 背景技術

- [0002] 電力ケーブルの絶縁劣化を診断する方法は、特公平6-7146号公報に開示されている。この方法は、部分放電によって生じた放電電流を利用して、電力ケーブルの絶縁劣化を診断する。図1Aに示すように、診断装置101は、ケーブル102、中間接続部103、終端接続部104a、104b、高周波ブロッキングコイル105、高電圧電源106、結合コンデンサ107、検出インピーダンス108、及び部分放電測定器109を備える。なお、図1A、1Bはそれぞれ診断装置101の結線図、等価回路図である。
- [0003] ケーブル102は、中間接続部103を用いて2本のケーブルを接続することにより構成される。また、ケーブル102は、終端接続部104aの第1端部に接続された第1端部と、終端接続部104bの第1端部に接続された第2端部を有する。終端接続部104aは、高周波ブロッキングコイル105を介して、高電圧電源106に接続された第2端部を有する。終端接続部104bは、結合コンデンサ107を介して、検出インピーダンス108に接続された第2端部を有する。部分放電測定器109は、検出インピーダンス108の両端にそれぞれ接続された両端を有し、かつ、検出インピーダンス108の両端に発生する電位差を検出する。図1Bにおける、コンデンサ102aは、ケーブル102の静電容量に等しい静電容量を有する。
- [0004] 次に、診断装置101の絶縁劣化診断方法を説明する。ケーブル102の運転を停止した後、試験電圧が高電圧電源106からケーブル102に印加される。この操作により、部分放電がケーブル102の絶縁体で発生して、放電電流をケーブル102の導体に誘起する。なお、放電電流は、高周波のパルス波形を有する。放電電流は、結合コンデンサ107を介して、検出インピーダンス108に出力される。部分放電測定器109

は、検出インピーダンス108の両端に発生するパルス性電圧を検出して、データを生成する。生成されたデータに所定の処理を施した後、ケーブル102の絶縁劣化が診断される。

[0005] 部分放電測定器109は、例えば同調式部分放電測定器である。部分放電測定器109は、同調検出器、広帯域減衰器、同調増幅器、及び検波器等を備える(すべて図示略)。同調検出器は、パルス性電圧を一定の周波数の減衰振動波形として検出する。広帯域減衰器は、同調検出器の出力波形を適当なレベルまで減衰する。同調増幅器は、ラジオ放送帯域を避けるために、400kHzを中心周波数とする同調周波数で、広帯域減衰器の出力波形を同調させて増幅する。検波器は同調増幅器の出力波形を検波する。

[0006] また、配電用高圧架空ケーブルの分岐接続体の絶縁劣化を診断する方法は、特開2000-2743号公報に開示されている。この方法は、引込ケーブルに流れる高周波電流を利用して、分岐接続体の絶縁劣化を診断する。

図2に示すように、引込ケーブル202は、接続体203によって、架空ケーブル208から分岐される。診断装置201は、変流器204、アンプ205、スペクトラムアナライザ206、及びコンピュータ207を備える。変流器204は、引込ケーブル202に取り付けられる。アンプ205は、変流器204によって検出された高周波電流の波形を増幅する。スペクトラムアナライザ206は、増幅された高周波電流の周波数スペクトラムを測定する。コンピュータ207は、高周波電流の波形パターンと周波数スペクトラムをメモリに記憶する。

[0007] 次に、診断装置201の絶縁劣化診断方法を説明する。正常な接続体203における、高周波電流の基準波形パターンと基準周波数スペクトルが、コンピュータ207のメモリに予め記憶される。次に、診断対象の接続体203における、高周波電流の波形パターンと周波数スペクトラムは、コンピュータ207のメモリに記憶されて、基準波形パターン及び基準周波数スペクトルとそれぞれ比較される。この比較によって、部分放電の程度、すなわち接続体203の絶縁劣化の程度が診断される。

[0008] 接続体203において部分放電が発生しているとき、2-6MHz及び6-10MHzの帯域では、高周波電流の周波数スペクトラムは大きな値をとる。一般的な環境ノイズ

の周波数スペクトラムは、2～6MHz及び6～10MHzの帯域では、小さい値をとるので、上記の方法により、部分放電の発生は環境ノイズの発生と簡易に識別される。

[0009] しかしながら、前者の診断方法では、ケーブル102に結合コンデンサ107を取り付け、かつ、ケーブル102の運転を停止する必要がある。それゆえ、この診断方法は、製品出荷時の検査又は製品開発時の特性評価のみに使用される。また、単一の周波数(400kHz)が、検出インピーダンス108で検出したパルス性電圧から抽出されて、部分放電測定に使用されるので、実態に即していない。さらに、部分放電測定器109は、同調式部分放電測定器等であるため、回路構成の複雑化を招く。

[0010] 後者の診断方法では、高周波電流の周波数スペクトルを求めるために、スペクトラムアナライザが使用されるので、装置の高価化を招く。

#### 発明の開示

[0011] 本発明の目的は、装置構成の簡易化及び低コスト化を実現する絶縁劣化診断装置を提供することである。

[0012] また、本発明の目的は、運転中の高圧送電機器で生じる部分放電を精密に測定するための絶縁劣化診断装置を提供することである。

[0013] 上述の目的を達成するために、本発明は、商用周波数において-60dB以下の減衰量及び-5dB/oct以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、被測定線に流れる電流を検出する電流検出器と、前記電流検出器で検出された電流に基づく電流信号から低周波成分を除去する第1ハイパスフィルタと、前記第1ハイパスフィルタからの電流信号から高周波成分を除去するローパスフィルタと、前記ローパスフィルタからの電流信号を所定のレベルまで増幅する増幅器と、前記増幅器で増幅された電流信号から、前記被測定線で発生した部分放電による放電電流に対応する信号を抽出する第2ハイパスフィルタと、前記第2ハイパスフィルタで抽出された信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する放電判定部と、を備えることを特徴とする絶縁劣化診断装置を提供する。

[0014] 本発明によれば、電流検出器に、商用周波数において-60dB以下の減衰量及び-5dB/oct以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を持たせたので、被測定線に流れる商用周波数の充電電流を除去するためのフィルタは不要となる。それゆえ、簡

単な構成で、かつ、安価で精度よく活線状態における被測定線の部分放電を測定できる。

[0015] また、上述の目的を達成するために、本発明は、商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、被測定線に流れる電流を検出する第1電流検出器と、前記第1電流検出器で検出された電流に基づく信号を所定のレベルまで増幅する第1増幅器と、前記第1増幅器で増幅された信号から、第1周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる低域バンドパスフィルタと、前記第1増幅器で増幅された信号から、第2周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる第1高域バンドパスフィルタと、前記低域バンドパスフィルタからの第1信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する低域放電判定部と、商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、前記被測定線に接続された他の線に流れる電流を検出する第2電流検出器と、前記第2電流検出器で検出された電流に基づく信号を所定のレベルまで増幅する第2増幅器と、前記第2増幅器で増幅された信号から、第2周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる第2高域バンドパスフィルタと、前記第1高域バンドパスフィルタからの第2信号と、前記第2高域バンドパスフィルタからの第3信号の極性を比較して、逆極性を有するか否かを判定する極性判定部と、前記第2信号と前記第3信号に演算を加えて、前記第2信号からノイズを除去するキャンセル回路と、前記キャンセル回路からの第4信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する高域放電判定部と、前記第1信号と前記第4信号の比率に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する比率比較部と、前記低域放電判定部における判定結果と、前記高域放電判定部における判定結果と、前記比率比較部における判定結果とに基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを最終的に判定する最終放電判定部と、を備えることを特徴とする絶縁劣化診断装置を提供する。

[0016] 本発明によれば、第1周波数帯域と第2周波数帯域を設定した上で、低域放電判定部、高域放電判定部、及び比率比較部の3つの判定結果を用いて、被測定線に部分放電が生じたか否かを判定する。それゆえ、被測定線における部分放電の判定

確度を向上させることができる。

### 図面の簡単な説明

[0017] [図1A]図1Aは、従来の高圧送電機器の絶縁劣化を診断する装置の結線図である。

[図1B]図1Bは、従来の高圧送電機器の絶縁劣化を診断する装置の等価回路図である。

[図2]図2は、従来の高圧送電機器の絶縁劣化を診断する別の装置の構成図である。

[図3]図3は、本発明の第1実施形態に係る診断装置の構成図である。

[図4]図4は、本発明の第1及び2実施形態に係る変流器の周波数特性を示す図である。

[図5]図5は、本発明の第1実施形態に係る第1段フィルタの周波数特性を示す図である。

[図6]図6は、本発明の第1実施形態に係る第2段フィルタの周波数特性を示す図である。

[図7]図7は、本発明の第1実施形態に係るローパスフィルタに入力される第1増幅信号の周波数特性である。

[図8]図8Aは、本発明の第1実施形態に係る診断装置のTPにおける第2増幅信号の周波数スペクトラムを示す図である。図8Bは、本発明の第1実施形態に係る診断装置のTP2における第2増幅信号の周波数スペクトラムを示す図である。図8Cは、図8Aの一部の時間スケールを拡大した図である。図8Dは、図8Bの一部の時間スケールを拡大した図である。

[図9]図9は、本発明の第2実施形態に係る診断装置の構成図である。

[図10]図10は、本発明の第1及び2実施形態に係る第1及び2段フィルタの周波数特性を示す図である。

[図11]図11は、本発明の第3実施形態に係る診断装置の部分構成図である。

[図12]図12は、本発明の第4実施形態に係る診断装置における、ノイズ電流の発生状態を説明するための図である。

[図13]図13は、本発明の第4実施形態に係る診断装置における、ノイズ電流の実測

波形を示す図である。

[図14]図14は、本発明の第4実施形態に係る診断装置の構成図である。

[図15]図15Aは、本発明の第4実施形態に係る第1検波部に入力される信号波形を示す図である。図15Bは、本発明の第4実施形態に係る第1検波部で入力信号を全波整流した波形を示す図である。図15Cは、本発明の第4実施形態に係る第1検波部で全波整流信号を平滑化した波形を示す図である。

[図16]図16Aは、本発明の第4実施形態に係る、ケーブルに部分放電が発生していない状態における、ケーブルに流れるノイズ電流信号を示す図である。図16Bは、本発明の第4実施形態に係る、ケーブルに部分放電が発生していない状態における、合成信号の実測波形を示す図である。

[図17]図17Aは、本発明の第4実施形態に係る、ケーブルに部分放電が発生している状態における、ケーブルに流れるノイズー放電電流信号を示す図である。図17Bは、本発明の第4実施形態に係る、ケーブルに部分放電が発生している状態における、合成信号の実測波形を示す図である。

[図18]図18は、本発明の第4実施形態の変形例に係る診断装置の構成図である。

[図19]図19は、本発明の第4実施形態の他の変形例に係る診断装置の構成図である。

[図20]図20は、本発明の第5実施形態に係る診断装置の構成図である。

[図21]図21Aは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生している状態における、低域出力信号の波形を示す図である。図21Bは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生している状態における、高域出力信号の波形を示す図である。図21Cは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生している状態における、検波合成した高域出力信号の波形を示す図である。

[図22]図22Aは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに部分放電が発生している状態における、低域出力信号の波形を示す図である。図22Bは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに部分放電が発生している状態における、高域出力信号の波形を示す図である。図22Cは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに

部分放電が発生している状態における、検波合成した高域出力信号の波形を示す図である。

[図23]図23Aは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生していない状態における、低域周波数帯でのノイズ波形を示す図である。図23Bは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生していない状態における、高域周波数帯でのノイズ波形を示す図である。図23Cは、本発明の第5実施形態に係る、短ケーブルに部分放電が発生していない状態における、高域周波数帯での検波合成したノイズ波形を示す図である。

[図24]図24Aは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに部分放電が発生していない状態における、低域周波数帯でのノイズ波形を示す図である。図24Bは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに部分放電が発生していない状態における、高域周波数帯でのノイズ波形を示す図である。図24Cは、本発明の第5実施形態に係る、長ケーブルに部分放電が発生していない状態における、高域周波数帯での検波合成したノイズ波形を示す図である。

[図25]図25は、本発明の第5実施形態に係る、ケーブル2aに構成パルス(電荷量100pC)を注入した場合の、ケーブル長と低域出力信号値、及びケーブル長と高域出力信号値の関係を示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

[0018] 図3乃至25を参照して、本発明の第1乃至5実施形態を詳細に説明する。

[0019] 本発明では、高圧送電機器の一例として、電力ケーブル(以後、ケーブルと称する)を対象とする。

[0020] 我々は次の事実を見出した。1番目に、ケーブルで検出される部分放電の電荷量は、約500pC以下であり、特に約10〜200pCが支配的である。2番目に、ケーブルで検出される放電電流(パルス波形)の低周波数帯域は100〜500KHzの範囲内であり、特に100〜400KHzの範囲内の低周波数が支配的である。また、この低周波数はいくつかのピークを有し、かつ、短時間で収束する。3番目に、ケーブルで検出される放電電流の高周波数帯域は1.5〜5MHzの範囲内である。また、この高周波数はいくつかのピークを有し、かつ、短時間で収束する。なお、部分放電がケーブル

の絶縁体で発生すると、放電電流が、パルス波形としてケーブルの導体に誘起される。

[0021] 本発明の第1乃至4実施形態では、100〜400kHzの低周波数帯域内の周波数を主成分とする放電電流を検出対象とする。この設定により、診断装置は、ノイズを除去して高調波等の影響を受けることなく、放電電流の原波形にほぼ対応した波形を取り出せるので、放電電流の波形とノイズの波形を識別できると共に、ケーブルの絶縁劣化の程度を診断できる。

[0022] また、本発明の第5実施形態では、100〜500KHzの低周波数帯域、及び1.5〜5MHzの高周波数帯域内の周波数を主成分とする放電電流を検出対象とする。この設定により、診断装置は、低周波数帯域のみの設定の利点に加えて、検出した部分放電がケーブルから発生したのか、ケーブルに接続された電力機器（モータ、トランス等）から発生したのかを識別できる。

[0023] （第1実施形態）

図3に示すように、ケーブル2は終端接続部3を取り付けた端部を有する。接地線5は、ケーブル2の端部外周上の遮蔽層に接続された一端と、接地された他端を有する。接地線5は例えばIV線からなる。IV線は、銅撚り線の外周を取り囲む0.8mm厚のPVCからなる。接地線5の遮蔽層は銅テープ等からなる。なお、接地線5は本発明の被測定線に対応する。

[0024] 診断装置1aは接地線5に取り付けられる。診断装置1aは、変流器（CT）7a、負荷抵抗13、抵抗14、第1増幅器15、第1ハイパスフィルタ（第1HPF）17、ローパスフィルタ（LPF）19、第2増幅器20、第2ハイパスフィルタ（第2HPF）21、遅延回路22及び放電判定部30を備える。

[0025] 変流器7aは、クランプ状に形成されて、コア8と出力巻線（2次巻線）9aからなる。コア8は、環状に形成されて、接地線5が貫通する中空部を有する。コア8は例えばフェライトコアである。出力巻線9aは、コア8に数回（例えば10回）巻きつけられ、かつ、接地された第1端部を有する。接地線5に流れる電流が変化すると、出力巻線9aには誘導電流が流れる。それゆえ、放電電流が接地線5に流れると、誘導電流が放電電流のパルス波形に対応して出力巻線9aに生じる。なお、変流器7aは本発明の電

流検出器に対応する。

- [0026] 図4に示すように、変流器7aは特性線T1の周波数特性を有する。特性線T1は、商用周波数(50Hz又は60Hz)において、 $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するので、変流器7aはハイパスフィルタとして機能する。負荷抵抗13は、出力巻線9aの両端に接続されて、例えば $100\ \Omega$ の抵抗値を有する。
- [0027] 抵抗14は、出力巻線9aの第2端部に接続された第1端部と、接地された第2端部を有する。第1増幅器15は、抵抗14の第1端部に接続された第1端部を有する。第1増幅器15は、誘導電流が抵抗14に流れることによって、抵抗14の両端に発生した電圧を10倍程度に増幅して、第1増幅信号を出力する。第1増幅信号は、第1増幅器15から第1ハイパスフィルタ17に出力される。
- [0028] 第1ハイパスフィルタ17は、第1増幅器15の第2端部に接続された第1端部を有する。第1ハイパスフィルタ17は、第1増幅信号から第1遮断周波数以下の低周波成分を除去する。第1遮断周波数は $10\text{kHz}$ 程度である。低周波成分を除去した第1増幅信号は、第1ハイパスフィルタ17からローパスフィルタ19に出力される。
- [0029] ローパスフィルタ19は、第1ハイパスフィルタ17の第2端部に接続された第1端部を有する。ローパスフィルタ19は、低周波成分を除去した第1増幅信号から、第2遮断周波数以上の高周波成分を除去する。第2遮断周波数は、 $300\sim 500\text{kHz}$ 程度である。本実施形態では第2遮断周波数として $500\text{kHz}$ を適用する。高周波成分を除去した第1増幅信号は、ローパスフィルタ19から第2増幅器20に出力される。
- [0030] 第2増幅器20は、ローパスフィルタ19の第2端部に接続された第1端部を有する。第2増幅器20は、高周波成分を除去した第1増幅信号を100倍程度に増幅して、第2増幅信号を出力する。第2増幅信号は、第2増幅器20から第2ハイパスフィルタ21に出力される。
- [0031] 第1段フィルタは、変流器7a、第1ハイパスフィルタ17、及びローパスフィルタ19からなり、図5に示した周波数特性を有する。第1段フィルタにおける、第1ハイパスフィルタ17及びローパスフィルタ19の遮断周波数は、それぞれ $10\text{kHz}$ 及び $300\sim 500\text{kHz}$ である。それゆえ、第1段フィルタにおける減衰量は、 $10\sim 500\text{kHz}$ の間の周波数では、 $-10\sim 0\text{dB}$ の間の値をとる。

- [0032] 第2ハイパスフィルタ21は、第2増幅器19の第2端部に接続された第1端部を有する。第2ハイパスフィルタ21は、第2増幅信号から第3遮断周波数以下の低周波成分を除去する。第3遮断周波数は100〜200kHz程度である。本実施形態では、第3遮断周波数として100kHzを適用する。低周波成分を除去した第2増幅信号は、第2ハイパスフィルタ21から放電判定部30に出力される。
- [0033] 遅延回路22は、第2ハイパスフィルタ21の第2端部に接続された第1端部と、放電判定部30の第1端部に接続された第2端部を有する。遅延回路22は、反転増幅器23と遅延素子(DLY)24からなる。遅延回路22は、第2ハイパスフィルタ21からの第2増幅信号から高調波を打ち消す、アクティブフィルタの機能を有する。なお、遅延回路22を省略してもよい。
- [0034] 反転増幅器23は、第2ハイパスフィルタ21からの第2増幅信号を反転して、反転信号を遅延素子24に出力する。遅延素子24は、反転信号を微少時間(例えば0.5  $\mu$ s)だけ遅延させて、遅延信号を出力する。遅延信号は、第2ハイパスフィルタ21からの第2増幅信号と合成される。合成された信号は、放電判定部30に出力される。これにより、第2増幅信号が高調波を含む場合でも、遅延回路22によって高調波はほぼ打ち消されるので、波形歪みの少ない信号が得られる。
- [0035] 第2段フィルタは、第2ハイパスフィルタ21と遅延回路22からなり、図6に示した周波数特性を有する。第2段フィルタは−18dB/octのスロープ特性を有する。第2段フィルタにおいて、第2ハイパスフィルタ21の遮断周波数は100〜200kHzである。それゆえ、第2段フィルタにおける減衰量は、100〜500kHzの間の周波数では−10〜−10dBの間の値をとる。
- [0036] 放電判定部30は、合成信号に基づいて、部分放電がケーブル2で生じた否かを判定する。放電判定処理では、入力された信号のp-p値、p-p時間、及びピーク数を検出することによって、合成信号がケーブル2の部分放電に起因する信号であるか否かを判定する。ここで、p-p値は、ある波形のピークとその波形に隣接した波形のピークとの間の振幅値と定義される。p-p時間は、波形の最初のピークと最後のピークとの間の時間と定義される。なお、放電判定部30は本発明の放電判定部に対応する。

- [0037] 次に、診断装置1aの動作を説明する。
- [0038] 運転中のケーブル1には充電電流が流れる。充電電流は、商用周波数(50Hz又は60Hz)を有する電流である。この状態において、接地線5にも充電電流が流れる。
- [0039] 運転中のケーブル1に部分放電が発生すると、放電電流は充電電流に重畳されて接地線5に流れる。放電電流が接地線5に流れると、誘導電流が放電電流のパルス波形に対応して出力巻線9aに生じる。このとき、商用周波数を有する充電電流は、変流器7aのフィルタ機能によって除去される。
- [0040] 第1増幅器15は、変流器7aからの誘導電流に基づく電流信号を10倍程度に増幅して、第1ハイパスフィルタ17に第1増幅信号を出力する。第1ハイパスフィルタ17は、第1増幅信号から10kHz程度以下の低周波成分を除去して、ローパスフィルタ19に出力する。ローパスフィルタ19は、低周波成分を除去した第1増幅信号から500kHz程度以上の高周波成分を除去して、第2増幅器20に出力する。第2増幅器20は、高周波成分を除去した第1増幅信号を100倍程度に増幅し、第2バイパスフィルタ21に第2増幅信号を出力する。第2ハイパスフィルタ21は、第2増幅信号から100kHz程度以下の低周波成分を除去して、放電判定部30に出力する。
- [0041] ローパスフィルタ19に入力される、低周波成分を除去した第1増幅信号に対して、スペクトラムアナライザで周波数分析すると、図7に示すような周波数特性が得られる。この周波数特性を参照するに、入力された第1増幅信号の周波数成分は、100〜400kHz程度である。従って、ローパスフィルタ19の遮断周波数を500kHz程度に設定することが好ましい。
- [0042] 第2増幅器20出力された第2増幅信号の、TP1における信号波形は、例えば、図8A及び図8Cに示す波形を有する。なお、図8Cは、図8Aの一部を、時間スケールを拡大して示している。TP1における信号波形は、数十kHzの周波数成分を有する。丸印Aで示した、波形の上部付近に存在する凹部は、放電電流のパルス波形によって生じた部分である。従って、放電電流によって生じた信号波形を検出するには、TP1における信号波形から数十kHzの周波数成分を除去する必要がある。
- [0043] 第2ハイパスフィルタ21から第2増幅信号の、TP2における信号波形は、例えば、図8B及び図8Dに示すような波形を有する。なお、図8Dは、図8Bの一部を、時間ス

ケールを拡大して示している。丸印Bで示した部分は、TP1における信号波形の丸印Aで示した部分に対応する。TP2における信号波形は、第2ハイパスフィルタ21で、TP1における信号波形から数十kHzの周波数成分を除去しているので、放電電流のパルス波形によって生じた信号波形の前後は略平坦になる。それゆえ、放電判定部30における放電判定処理が容易になる。

- [0044] なお、第2ハイパスフィルタ21の第2端部に、さらに、第2ローパスフィルタ、第3ハイパスフィルタ、及び第3ローパスフィルタをこの順で接続して、ノイズを除去してもよい。第2ローパスフィルタは、300〜500kHzの遮断周波数を有する。第3ハイパスフィルタは、100〜200kHzの遮断周波数を有する。第3ローパスフィルタは、300〜500kHzの遮断周波数を有する。
- [0045] 放電判定部30は、入力された信号(アナログ信号)を、例えば0.1〜0.2  $\mu$ sでサンプリングして、デジタル信号に変換する。放電判定部30は、このデジタル信号に対して放電判定処理を行う。
- [0046] 次に、放電判定部30による放電判定処理を説明する。
- [0047] 放電判定部30は、まず、入力された信号波形のp-p値が、予め設定された上限値と下限値との差の絶対値(基準値)以下である否かを判定する。基準値は例えば20〜200mVである。
- [0048] p-p値が基準値以下でない場合には、入力された信号はケーブル2の部分放電に起因した信号ではなく、大きな振幅を有するノイズ信号であるので、放電判定部30は放電判定処理を終了する。
- [0049] p-p値が基準値以下である場合には、入力された信号はケーブル2の部分放電に起因した信号であるので、放電判定部30は次の処理を行う。上述の判定において、大きな振幅を有するノイズ信号は除去される。
- [0050] 次に、放電判定部30は、入力された信号波形のp-p時間が、所定時間(例えば20  $\mu$ s)以下であるか否かを判定する。p-p時間が所定時間以下ではない場合には、入力された信号はケーブル2の部分放電に起因した信号ではないので、放電判定部30は放電判定処理を終了する。p-p時間が所定時間以下である場合には、入力された信号はケーブル2の部分放電に起因した信号、すなわち、短時間で収束する波形

を有する信号であるので、放電判定部30は次の処理を施す。

[0051] ここで、放電電流のパルス波形は、いつかのピークを有し、かつ、短時間で収束するので、p-p時間が所定時間より大きい場合には、入力された信号はノイズによって生じた信号であると判断される。

[0052] 次に、放電判定部30は、カウンタを用いて、単位時間内に放電判定処理を行った回数をカウントする。回数が所定値(例えば5回)以上である場合には、放電判定部30は、入力された信号は放電電流によって生じた信号であると判定して、その情報を外部に出力する。回数が所定値未満である場合には、放電判定部30は、入力された信号はノイズによって生じた信号であると判定して、放電判定処理を終了する。

[0053] 診断装置1aは、次の特徴を有する。

[0054] 商用周波数の減衰量及びスロープ特性がそれぞれ-60dB以下及び-5dB/oct以下である周波数特性を有する変流器が、電流検出器及びフィルタ機能として、使用されるので、ケーブル2に流れる商用周波数の充電電流を除去するためのフィルタを設ける必要はない。

[0055] 結合コンデンサ及びスペクトラムアナライザ等を設ける必要はないので、装置構成の簡易化及び低コスト化を実現できる。

[0056] 接地線5の運転を停止することなく、ケーブルの部分放電は測定されるので、運転中のケーブルで生じる部分放電を測定できる。

[0057] ケーブルの部分放電は、100〜400kHz程度を主周波数成分とするパルス波形の放電である。従って、ローパスフィルタ19及び第2ハイパスフィルタ21の遮断周波数を500kHz及び100kHz程度にそれぞれ設定することにより、ノイズ成分は除去される。従って、放電電流のパルス波形によって生じた信号波形は、高調波等の影響を受けることなく、放電電流の原波形にほぼ対応した波形として取り出せる。

[0058] 放電判定部30は、入力信号のp-p値が予め設定された上限値と下限値との差の絶対値以下であり、p-p時間が所定時間以下であり、放電判定処理の回数が所定値以上である場合のみ、部分放電によって生じた放電電流に基づく信号であると判断する。従って、放電電流によって生じた信号は、ノイズによって生じた信号と確実に識別される。

- [0059] 部分放電は、一度発生すると、ある程度の時間継続するので、所定時間(単位時間)内に発生した部分放電の回数、つまり放電判定処理を実行した回数をカウントすることにより、部分放電は、開閉サージ等の突発性ノイズと識別される。
- [0060] 部分放電によって生じた放電電流に基づく信号波形は、第1増幅器15及び第2増幅器20によって、1000倍以上に増幅される。従って、部分放電が微小放電電荷量(1pC)以下であっても、上記信号波形は高感度で検出される。
- [0061] 放電電流は、送電機器の接地線に変流器を取り付けることにより計測されるので、絶縁劣化診断において、送電機器を改造する必要はない。
- [0062] なお、診断装置1aは、高圧又は特別高圧の各種送電機器の絶縁性能評価・絶縁診断・絶縁監視に適用できる。また、診断装置1aは、開発時の特性評価試験、出荷時の製品検査、運転中の機器に対する絶縁診断・監視に使用できる。
- [0063] 放電判定処理において、放電判定部30に入力された信号波形と、予め記憶した次の部分放電の信号波形:放電劣化が開始する前の部分放電の信号波形;各種劣化部で発生する部分放電の信号波形;放電劣化が進行しつつある施工不良欠陥部で発生する部分放電の信号波形;銅テープ破断時の部分放電の信号波形等;を比較することにより、部分放電の発生要因を特定こともできる。
- [0064] (第2実施形態)
- 診断装置1bは、図9に示すように、電流検出器として、変流器7bを使用して、かつ、打消増幅器25を加えた点を除いて、診断装置1aと同じ構成をとる。なお、第1実施形態と同一の部材には、同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。
- [0065] 変流器7aは、電流検出器及びフィルタ機能として、商用周波数の減衰量及びスロープ特性がそれぞれ $-60\text{dB}$ 以下及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下である周波数特性を有する。本実施形態では、現在一般的に使用されている変流器を用いて、この機能を実現するものである。
- [0066] 診断装置1aの電流検出器として、現在一般的に使用されている変流器を適用する場合、放電電流を重畳した大きな電流が接地線5に流れると、変流器のコアや増幅器が飽和してしまう。これに伴って、第1ハイパスフィルタ17、ローパスフィルタ20及び第2ハイパスフィルタ21を用いて、入力信号から低周波及び高周波成分を除去し

ても、放電電流を良好に検出することができない。

- [0067] そこで、商用周波数から低周波成分(10kHz程度)を除去するフィルタ機能を変流器に持たせることにより、変流器のコアや増幅器を飽和させずに、接地線に流れる放電電流を正確に検出できる。
- [0068] 診断装置1bは、変流器7aの代わりに変流器7bを使用する。変流器7bは、コア8、出力巻線(2次巻線)9a、及び3次巻線9bからなる。コア8は、環状に形成されて、接地線5が貫通する中空部を有する。コア8は、例えばパーマロイコアである。出力巻線9aは、コア8に200回巻きつけられ、かつ、接地された第1端部を有する。放電電流が接地線5に流れると、誘導電流が放電電流のパルス波形に対応して出力巻線9a生じる。出力巻線9aの両端には、負荷抵抗13(例えば200Ω)が接続される。3次巻線9bは、コア8に数回巻きつけられ、かつ、接地された第1端部を有する。
- [0069] 打消増幅器25は、第1増幅器15の第2端部に接続された第1端部と、3次巻線9bの第2端部に接続された第2端部を有する。
- [0070] 第1増幅器15は、誘導電流に基づく電流信号を10倍程度に増幅する。打消増幅器25は、第1増幅器15からの電流信号を増幅して、出力巻線9aから出力される誘導電流の低周波数成分を除去するために、増幅した電流信号を3次巻線9bに出力する。
- [0071] 変流器7bは、変流器7aに3次巻線9bと打消増幅器25を導入することにより、低周波成分を除去するハイパスフィルタ機能を有する。変流器7bの遮断周波数は、商用周波数〜10kHzである。
- [0072] 図4に示すように、変流器7bは特性線T2の周波数特性を有する。特性線T2は、商用周波数(50Hzまたは60Hz)において、−60dB以下の減衰量及び−6dB/oct以下のスロープ特性を有する。それゆえ、変流器7bは確かにハイパスフィルタとして機能する。
- [0073] 次に、診断装置1bの動作を説明する。
- [0074] 放電電流が接地線5に流れると、誘導電流が放電電流のパルス波形に対応して出力巻線9aと3次巻線9bに生じる。第1増幅器15は、出力巻線9aからの誘導電流を増幅して、第1増幅信号を出力する。第1増幅信号は、打消増幅器25でさらに増幅さ

れて、3次巻線9bに入力される。これにより、打消増幅器25からの第1増幅信号は、出力巻線9aから出力される誘導電流から、低周波成分(商用周波数〜10kHz)を除去する。

[0075] 図10は、診断装置1aにおける第1段フィルタの周波数特性T11、診断装置1bにおける第1段フィルタの周波数特性T12、及び診断装置1a、1bにおける第2段フィルタの周波数特性T13を示す。周波数特性T11は、周波数特性T12とほぼ同じ特性を有する。

[0076] 診断装置1bは、次の特徴を有する。

[0077] 現在一般的に使用されている変流器に3次巻線9bを巻きつけるとともに、3次巻線9bに電流信号を入力する打消増幅器25を加えることにより、3次巻線9bからの誘導電流から低周波成分(商用周波数〜10kHz以下)を除去することができる。それゆえ、診断装置1bは、診断装置1aと同等の機能を実現することができる。

[0078] (第3実施形態)

診断装置1cは、複数の変流器を用いて、部分放電が発生したケーブルを特定する。診断装置1cは、複数の診断装置1a又は診断装置1bから構成されるが、診断装置1a又は診断装置1bの放電判定部30で実行される処理が異なる。

[0079] 図11に示すように、診断装置1cには、少なくとも3本のケーブル2a、2b、2cが使用される。ケーブル2a、2b、2cの接地線5、5、5は共通に接地され、かつ、変流器7、7、7は接地線5、5、5に取り付けられる。なお、変流器7は変流器7a又は変流器7bである。診断装置1cは、ケーブル2a、2b、2cに対応して放電判定部30、30、30を有する(図示略)。放電判定部30、30、30は、マイクロコンピュータ、パーソナルコンピュータ、オシロスコープ(電流方向判定部)等に接続された第2端部をそれぞれ有する。

[0080] ケーブル2aで部分放電が発生したとすると、ケーブル2aの放電電流は接地線5上を矢印Aの方向に流れる。このとき、ケーブル2a、2b、2cの接地線5、5、5は共通に接地されているので、ケーブル2b、2cの放電電流は、ほぼ同じタイミングで、矢印Aとは逆方向の矢印B及びCの方向にそれぞれ流れる。

[0081] 電流方向判定部は、放電判定部30、30、30から信号がそれぞれ入力されると、そ

これらの信号が同じタイミングで発生しているか否かを判断する。同じタイミングで発生している場合には、3つの信号の位相を解析する。同じタイミングで発生していない場合には、処理を終了する。位相の解析において、1つの信号の位相が他の2つの信号の位相と逆になっている場合には、その1つの信号を発生した変流器に接続されているケーブル(図11ではケーブル2a)に、部分放電が発生したと判定される。また、3つの信号の位相がすべて同じである場合には、ケーブル2a, 2b, 2c以外の他のケーブルで部分放電が発生したと判定される。

[0082] 診断装置1cは、次の特徴を有する。

[0083] 複数のケーブルが存在する場合に、部分放電が発生したケーブルを容易に特定することができる。

[0084] なお、上述した第1乃至3実施形態では、絶縁劣化診断装置は、ケーブル2の接地線5に流れる放電電流を変流器で検出するように構成した。しかしながら、ケーブル2に流れる電流を変流器で検出するように構成することも可能である。この場合でも、上述した第1乃至3実施形態と同様の作用及び効果が得られる。

[0085] (第4実施形態)

診断装置1dは、ケーブル上に発生したノイズを除去(低減)した後、部分放電を測定する。

[0086] 図12に示すように、接地線5a, 5b, 5cが共通の接地母線に接続されている場合、ノイズがある箇所から接地母線に進入すると、ほぼ同じ波形を有するノイズ電流が、接地線5a, 5b, 5cに図示矢印で示した方向に流れる。ここで、接地線5a, 5b, 5cは、複数のケーブル2a, 2b, 2cの終端部の外周上に形成された遮蔽層(銅テープ等)の一端に接続されている。

[0087] 例えば、ケーブル2a, 2b, 2cが工場内に布設されている場合、図13に示すように、ケーブル2a, 2b, 2cには、波形及び位相がほぼ同じノイズ電流が流れる。

[0088] 診断装置1dは、図14に示すように、第1診断部A、第2診断部B、ノイズ除去部40、第2放電判定部50及び最終放電判定部60から構成される。ケーブル2aは測定対象であり、ケーブル2bはノイズ信号取り込み用として使用される。

[0089] 第1診断部Aは測定対象であるケーブル2aの接地線5aに接続される。第1診断部

Aの構成及び動作は、診断装置1aの構成及び動作と同じである。

- [0090] 第2診断部Bはノイズ信号取り込み用ケーブル2bの接地線5bに接続される。第2診断部Bの構成及び動作は、放電判定部30を除いた診断装置1aの構成及び動作と同じである。
- [0091] ノイズ除去部40は、第1検波部41、第2検波部42、正負反転部43、アンプ44及び合成部45から構成される。
- [0092] 第1検波部41は、第1診断部AのTP2に接続された第1端部を有する。第1検波部41は、第1診断部AのTP2における電流信号を包絡線検波する。具体的には、最初に、第1診断部AのTP2における電流信号が第1検波部41に入力される(図15A参照)。次に、第1検波部41は、入力された電流信号に全波整流を行って、全波整流信号を形成する(図15B参照)。それから、全波整流信号を平滑化して、第1検波信号を出力する(図15C参照)。第1検波部41は、包絡線検波によって得られた第1検波信号を合成部45に出力する。
- [0093] 第2検波部42は、第2診断部BのTP2に接続された第1端部を有する。第2検波部42は、第2診断部BのTP2における電流信号を包絡線検波する。第2検波部42における包絡線検波の動作は、第1検波部41における包絡線検波の動作と同じである。第2検波部42は、包絡線検波によって得られた第2検波信号を正負反転部43に出力する。
- [0094] 正負反転部43は、第2検波部42から出力された第2検波信号の正負を反転して、反転信号を生成する。それから、正負反転部43は、反転信号をアンプ44に出力する。
- [0095] アンプ44は、反転信号のレベルが第1検波信号のレベルとほぼ同じになるように、反転信号を増幅する。増幅された反転信号は、反転検波信号として、合成部45に出力される。なお、アンプ44を省略して、反転信号のレベルが第1検波信号のレベルとほぼ同じになるように、ローパスフィルタ19からの第1増幅信号を第2増幅器20で増幅してもよい。
- [0096] 合成部45は、第1検波部41からの第1検波信号と、アンプ44からの反転検波信号とを加算することにより、2つの信号を合成して、合成信号を生成する。なお、合成方

法は加算に限らず、他の演算でもよい。それから、合成信号は第2放電判定部50に出力される。

- [0097] ケーブル2aに部分放電が発生していない状態において、ノイズ電流信号及び合成信号は、それぞれ図16A及び16Bに示される。なお、ノイズ電流信号はケーブル2aに流れるノイズ波形である。図16A及び16Bを参照するに、合成部45は、ケーブル2aのノイズ電流信号からノイズを除去して、略フラットな合成信号を出力する。
- [0098] ケーブル2aに部分放電が発生している状態において、ノイズ放電電流信号と合成信号は、それぞれ図17A及び17Bに示される。ノイズ放電電流信号は、ケーブル2aに流れるノイズ電流信号に部分放電によって生じた放電電流信号を重畳した波形である。なお、図17Aにおいて、放電電流によって生じた部分はピークPに対応する。図17A及び17Bを参照するに、合成部45は、放電電流によって生じた部分は、大きなピークPを有し、それ以外の部分では、ケーブル2aのノイズ電流信号からノイズを除去して、略フラットな合成信号を出力する。
- [0099] 第2放電判定部50は、ノイズ除去部40の第2端部に接続された第1端部を有する。第2放電判定部50は、合成信号に基づいて、部分放電がケーブル2aで発生したか否かを判定する。放電判定処理において、まず、第2放電判定部50は、合成信号を例えば0.1〜0.2  $\mu$ sでサンプリングして、デジタル信号に変換する。第2放電判定部50は、このデジタル信号に放電判定処理を行う。放電判定処理では、第2放電判定部50は、合成信号のピーク値が所定値以上であるか否かを判定する。所定値以上である場合には、ケーブル2aに部分放電が発生したと判断して、その情報が最終放電判定部60に出力される。
- [0100] 最終放電判定部60は、第2放電判定部50の第2端部に接続された第1端部を有する。最終放電判定部60は、第1診断部Aの放電判定部30からの判定結果及び第2放電判定部50からの判定結果の両方が、ケーブル2aに部分放電が発生したと判定した場合に、その情報が外部に出力される。
- [0101] 診断装置1dは、次の特徴を有する。
- [0102] 第1診断部Aによる判定結果に加え、ノイズ除去部40でノイズを除去して部分放電に起因する波形のみを抽出し、第2放電判定部50で部分放電が発生したか否かを

判定する。そして、最終放電判定部60で、両方の判定結果を用いて、最終的に測定対象のケーブル2aに部分放電が発生したか否かを判定する。それゆえ、ケーブル2aにおける部分放電の判定確度を向上させることができる。

[0103] 本実施形態では、第1診断部Aの放電判定部30の判定結果と第2放電判定部50の判定結果の両方がケーブル2aに部分放電が発生したと判定した場合に、その情報が外部に出力される。しかしながら、これに限定されることなく、第2放電判定部50の判定結果のみを用いて、ケーブル2aに部分放電が発生したと判定してもよい。

[0104] ノイズ除去部40は、図18に示すように、第1検波部41と合成部45との間にハイパスフィルタ(HPF)46を設け、かつ、第2検波部42と正負反転部43との間にハイパスフィルタ(HPF)47を設けるように、変形できる。ハイパスフィルタ46及びハイパスフィルタ47のカットオフ周波数は、図15Cに示すような検波信号に、ピーク部として出現するノイズを通過させ得るような値に設定される。

[0105] この構成によれば、第1検波信号及び第2検波信号に含まれる低周波成分を除去することができる。それゆえ、第1検波信号及び第2検波信号に出現するピーク部以外の信号波形はフラットになるので、合成部45で第1検波信号と第2検波信号を合成すれば、低周波成分に起因して合成信号中に発生する凹凸の波形を打ち消すことができる。結果として、部分放電によって生じた電流信号をより確実に検出することができる。

[0106] また、ノイズ除去部40は、図19に示すように、正負反転部43、アンプ44及び合成部45の代わりに、減算回路48を設けるように変形できる。減算回路48は、第1検波信号と第2検波信号との差を算出して、合成信号として、差分信号を第2放電判定部50に出力する。その他の動作は、診断装置1dの動作と同じである。

[0107] この構成によれば、ノイズ除去部40を構成する部品数を減らすことができるので、診断装置1dを簡単且つ安価に構成できる。

[0108] 本実施形態では、2本の単心ケーブル(ケーブル2a, 2b)を用いて、絶縁劣化診断を行う例を説明した。しかしながら、これに限定されることなく、多心を絶縁体で被覆した多心ケーブル、3個の単心ケーブルが撚られたトリプレックス型ケーブル等といった種々のケーブルの絶縁劣化診断を行うために使用できる。

[0109] (第5実施形態)

診断装置1eは、低周波数帯域と高周波数帯域を設定して、ケーブル上に発生したノイズを除去(低減)した後、部分放電を測定する。

[0110] 診断装置1eは、図20に示すように、第1検出部C、第2検出部D、低域バンドパスフィルタ(低域BPF)71、第1高域バンドパスフィルタ(第1高域BPF)73、第2高域バンドパスフィルタ(第2高域BPF)75、極性判定部81、キャンセル回路83、低域放電判定部91、高域放電判定部93、比率比較部95、及び最終放電判定部97から構成される。ケーブル2aは測定対象であり、ケーブル2bはノイズ信号取り込み用として使用される。

[0111] 第1検出部Cは測定対象であるケーブル2aの接地線5aに接続される。第1検出部Cの構成及び動作は、診断装置1aの変流器7aから増幅器15までの構成及び動作と同じである。

[0112] 第2検出部Dはノイズ信号取り込み用ケーブル2bの接地線5bに接続される。第2検出部Dの構成及び動作は、第1検出部Cと同じである。

[0113] 低域バンドパスフィルタ71は、第1検出部Cの第1増幅器15の第2端部に接続された第1端部を有する。低域バンドパスフィルタ71は、100〜500KHzの低周波数帯域内に属する周波数を通過させる。

[0114] 第1高域バンドパスフィルタ73は、第1検出部Cの第1増幅器15の第2端部に接続された第1端部を有する。第1高域バンドパスフィルタ73は、1.5〜5MHzの高周波数帯域内に属する周波数を通過させる。

[0115] 第2高域バンドパスフィルタ75は、第2検出部Dの第1増幅器15の第2端部に接続された第1端部を有する。第2高域バンドパスフィルタ75は、1.5〜5MHzの高周波数帯域内に属する周波数を通過させる。

[0116] 極性判定部81は、第1高域バンドパスフィルタ73の第2端部と第2高域バンドパスフィルタ75の第2端部に接続された第1端部を有する。極性判定部81は、ケーブル2aからの第1信号とケーブル2bからの第2信号の極性を比較して、逆極性を有するかどうかを判定する。

[0117] 接地線5a、5bが共通の接地母線に接続されている場合、ノイズがある箇所から接

地母線に進入すると、ほぼ同じ波形を有するノイズ電流が接地母線からケーブルに向けて接地線5a, 5b上を同じ方向に流れる。したがって、ケーブル2aに部分放電が生じない場合には、極性判定部81は、2つの信号は逆極性を有しないと判定して、絶縁劣化の診断を終了する。ケーブル2aに部分放電が生じる場合には、放電電流が接地線5a上をノイズ電流とは逆向きに流れるので、極性判定部81は、2つの信号は逆極性を有すると判定する。

[0118] キャンセル回路83は、極性判定部81の第2端部に接続された第1端部を有し、第1信号と第2信号を受容する。キャンセル回路83は、第1信号と第2信号を加算して第1信号からノイズを除去する。

[0119] 低域放電判定部91は、低域バンドパスフィルタ71の第2端部に接続された第1端部を有する。低域放電判定部91は、低域バンドパスフィルタ71を通過した低域出力信号に対して、p-p値, p-p時間, 及び周期を求めて、ケーブル2aに部分放電が生じたか否かを判定する。なお、周期は、ピークを有する1波の持続時間である。

[0120] 図21A及び22Aに示すように、ケーブル2aに部分放電が生じる場合、低域出力信号は、短ケーブル(150m)及び長ケーブル(1630m)でも15  $\mu$ s以内に収束する減衰振動波形を呈する。また、低域出力信号は2〜5  $\mu$ sの周期を有する。なお、ケーブル2aに部分放電が生じない場合における、短ケーブル及び長ケーブルのノイズ波形は、図23A及び24Aに示すような波形をそれぞれ呈する。

[0121] 高域放電判定部93は、キャンセル回路83の第2端部に接続された第1端部を有する。高域放電判定部93は、キャンセル回路83を通過した高域出力信号に対して、p-p値及びp-p時間を求めて、ケーブル2aに部分放電が生じたか否かを判定する。

[0122] 図21B及び21Cに示すように、ケーブル2aに部分放電が生じる場合、高域出力信号は、短ケーブルでは放電電流のパルス波形の伝播速度に対応した間隔で反射波が数回連なる減衰振動波形を呈する。1波の持続時間(波長)は2  $\mu$ s未満である。また、図22B及び22Cに示すように、長ケーブルでは反射波は急激に減衰して1波のみが現れる。1波の持続時間(波長)は2  $\mu$ s未満である。なお、ケーブル2aに部分放電が生じない場合における、短ケーブル及び長ケーブルのノイズ波形は、図23B(又は図23C)及び24B(又は図24C)に示すような波形をそれぞれ呈する。

- [0123] 比率比較部95は、キャンセル回路83の第2端部に接続された第1端部を有する。比率比較部95は、低域バンドパスフィルタ71を通過した低域出力信号と、キャンセル回路83を通過した高域出力信号の比率を求めて、ケーブル2aに部分放電が生じたか否かを判定する。具体的には、図25に示すように、高域出力信号値／低域出力信号値が1.2〜3.0の範囲内にあるとき、ケーブル2aに部分放電が生じたと判定する。
- [0124] 最終放電判定部97は、低域放電判定部91の第2端部、高域放電判定部93の第2端部、及び比率比較部95の第2端部に接続された第1端部を有する。最終放電判定部97は、低域放電判定部91からの判定結果、高域放電判定部93からの判定結果、及び比率比較部95からの判定結果のすべてが、ケーブル2aに部分放電が発生したと判定した場合に、その情報が外部に出力される。
- [0125] 診断装置1eは、次の特徴を有する。
- [0126] 低周波数帯域と高周波数帯域を設定した上で、低域放電判定部91、高域放電判定部93、及び比率比較部95の3つの判定結果を用いて、ケーブル2aに部分放電が生じたか否かを判定する。それゆえ、ケーブル2aにおける部分放電の判定確度をさらに向上させることができる。
- [0127] なお、1.5〜4MHzの周波数帯域内に属する周波数を通過させるように低域バンドパスフィルタ71を設定し、かつ、5〜8MHzの周波数帯域内に属する周波数を通過させるように第1及び2高域バンドパスフィルタ73, 75を設定してもよい。

#### 産業上の利用の可能性

- [0128] 本発明の診断装置は、高圧から特別高圧までの各種機器に使用されるケーブルの絶縁性能評価、絶縁診断、絶縁監視に適用できる。また、この診断装置は、開発時の特性評価試験、出荷時の製品検査、運転中の機器の絶縁診断及び監視に使用できる。

### 請求の範囲

- [1] 商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、被測定線に流れる電流を検出する電流検出器と、  
前記電流検出器で検出された電流に基づく電流信号から低周波成分を除去する第1ハイパスフィルタと、  
前記第1ハイパスフィルタからの電流信号から高周波成分を除去するローパスフィルタと、  
前記ローパスフィルタからの電流信号を所定のレベルまで増幅する増幅器と、  
前記増幅器で増幅された電流信号から、前記被測定線で発生した部分放電による放電電流に対応する信号を抽出する第2ハイパスフィルタと、  
前記第2ハイパスフィルタで抽出された信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する放電判定部と、  
を備えることを特徴とする絶縁劣化診断装置。
- [2] 前記電流検出器は、前記被測定線を挿通したコアに巻回された出力巻線に流れる電流を検出することを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [3] 前記増幅器からの電流信号を増幅する打消増幅器をさらに備え、  
前記電流検出器は、前記被測定線を挿通したコアに出力巻線及び3次巻線が巻回されて、前記出力巻線に流れる電流を検出し、  
前記打消増幅器は、前記出力巻線の出力から所定の周波数成分を打ち消すように、前記増幅器からの電流信号を増幅して前記3次巻線に出力することを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [4] 前記第2ハイパスフィルタは、遮断周波数が $100\sim 200\text{kHz}$ であり、スロープ特性が $-18\text{dB}/\text{oct}$ 以下である周波数特性を有することを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [5] 前記第2ハイパスフィルタからの出力を反転させて遅延させる遅延回路をさらに備え、  
前記遅延回路の出力と前記第2ハイパスフィルタの出力とが合成された信号が前記放電判定部に送られることを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。

- [6] 前記放電判定部は、前記第2ハイパスフィルタからの信号の振幅のピークとその振幅に隣接した振幅のピークまでの絶対値が所定の範囲内にあるとき、前記被測定線で部分放電が発生したことを検出する請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [7] 前記放電判定部は、前記第2ハイパスフィルタからの信号の最初のピークから最後のピークまでの時間が、所定時間以下であるとき、前記被測定線で部分放電が発生したことを検出する請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [8] 前記電流検出器は少なくとも3つの被測定線の各々に設けられ、かつ、前記放電判定部は前記電流検出器に対応してそれぞれ設けられることを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。
- [9] 各放電判定部からの電流信号を受容する電流方向判定部をさらに備え、  
前記電流方向判定部は、少なくとも3つの電流信号のうち、1つの電流信号の方向が他の電流信号の方向と逆である場合、その1つの電流信号に対応する被測定線に部分放電が発生したことを判定することを特徴とする請求項8に記載の絶縁劣化診断装置。
- [10] 商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、前記被測定線に接続された他の線に流れる電流を検出する第2電流検出器と、  
前記第2電流検出器で検出された電流に基づく電流信号から低周波成分を除去する第3ハイパスフィルタと、  
前記第3ハイパスフィルタからの電流信号から高周波成分を除去する第2ローパスフィルタと、  
前記第2ローパスフィルタからの電流信号を所定のレベルまで増幅する第2増幅器と、  
前記第2増幅器で増幅された電流信号から、前記他の線で発生した部分放電による放電電流に対応する信号を抽出する第4ハイパスフィルタと、  
前記第2ハイパスフィルタからの信号を包絡線検波した第1検波信号と、前記4ハイパスフィルタからの信号を包絡線検波した第2検波信号との差をとってノイズを除去するノイズ除去部と、

前記ノイズ除去部でノイズが除去された信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じた否かを判定する第2放電判定部と、

前記放電判定部における判定結果と前記第2放電判定部における判定結果とに基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを最終的に判定する最終放電判定部と、

をさらに備えることを特徴とする請求項1に記載の絶縁劣化診断装置。

- [11] 商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、被測定線に流れる電流を検出する第1電流検出器と、  
前記第1電流検出器で検出された電流に基づく信号を所定のレベルまで増幅する第1増幅器と、

前記第1増幅器で増幅された信号から、第1周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる低域バンドパスフィルタと、

前記第1増幅器で増幅された信号から、第2周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる第1高域バンドパスフィルタと、

前記低域バンドパスフィルタからの第1信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する低域放電判定部と、

商用周波数において $-60\text{dB}$ 以下の減衰量及び $-5\text{dB}/\text{oct}$ 以下のスロープ特性を有するフィルタ機能を有し、前記被測定線に接続された他の線に流れる電流を検出する第2電流検出器と、

前記第2電流検出器で検出された電流に基づく信号を所定のレベルまで増幅する第2増幅器と、

前記第2増幅器で増幅された信号から、第2周波数帯域内に属する周波数成分を通過させる第2高域バンドパスフィルタと、

前記第1高域バンドパスフィルタからの第2信号と、前記第2高域バンドパスフィルタからの第3信号の極性を比較して、逆極性を有するか否かを判定する極性判定部と、

、

前記第2信号と前記第3信号に演算を加えて、前記第2信号からノイズを除去するキャンセル回路と、

前記キャンセル回路からの第4信号に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する高域放電判定部と、

前記第1信号と前記第4信号の比率に基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを判定する比率比較部と、

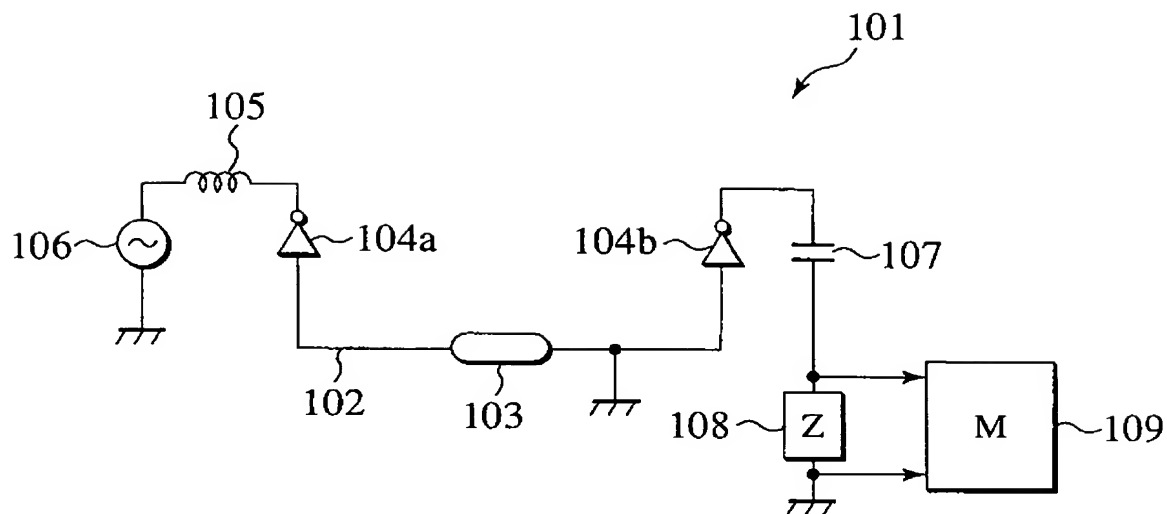
前記低域放電判定部における判定結果と、前記高域放電判定部における判定結果と、前記比率比較部における判定結果とに基づいて、前記被測定線で部分放電が生じたか否かを最終的に判定する最終放電判定部と、

を備えることを特徴とする絶縁劣化診断装置。

- [12] 前記第1周波数帯域は100〜500KHzであり、前記第2周波数帯域は1.5〜5MHzであることを特徴とする請求項10に記載の絶縁劣化診断装置。
- [13] 前記第1周波数帯域は1.5〜4MHzであり、前記第2周波数帯域は5〜8MHzであることを特徴とする請求項10に記載の絶縁劣化診断装置。

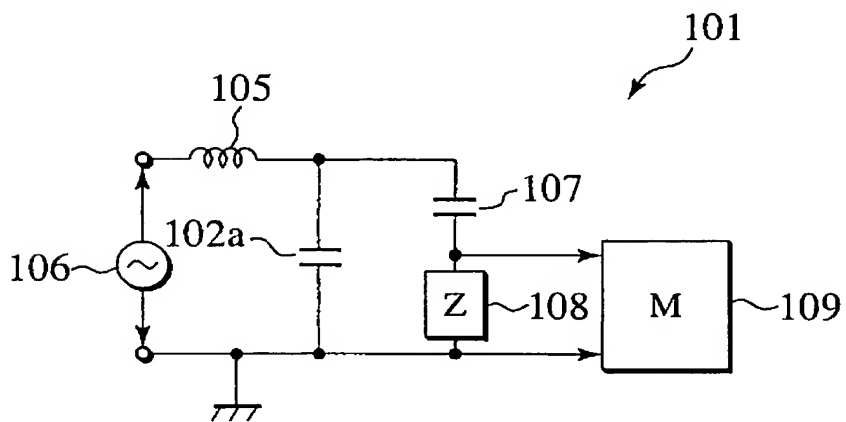
[図1A]

## PRIOR ART



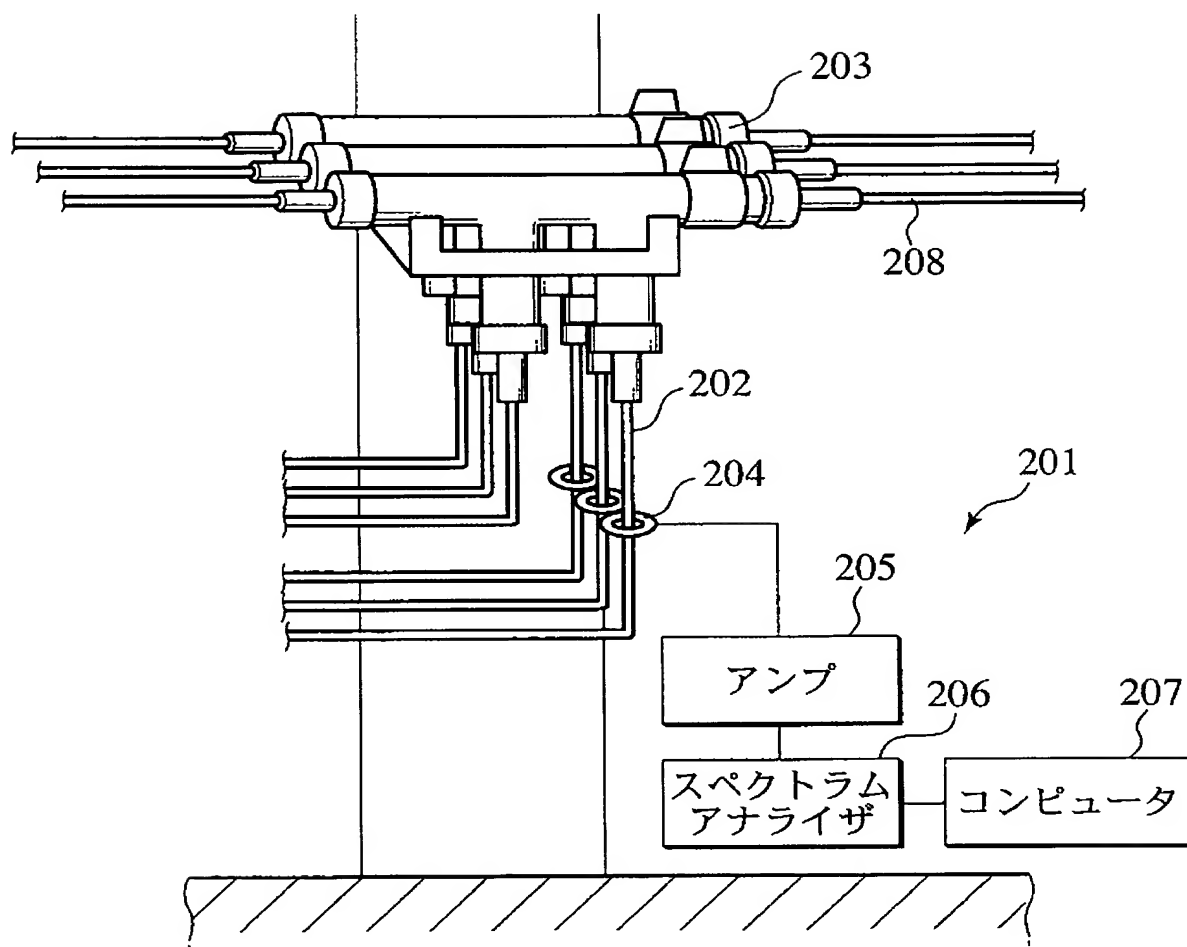
[図1B]

## PRIOR ART

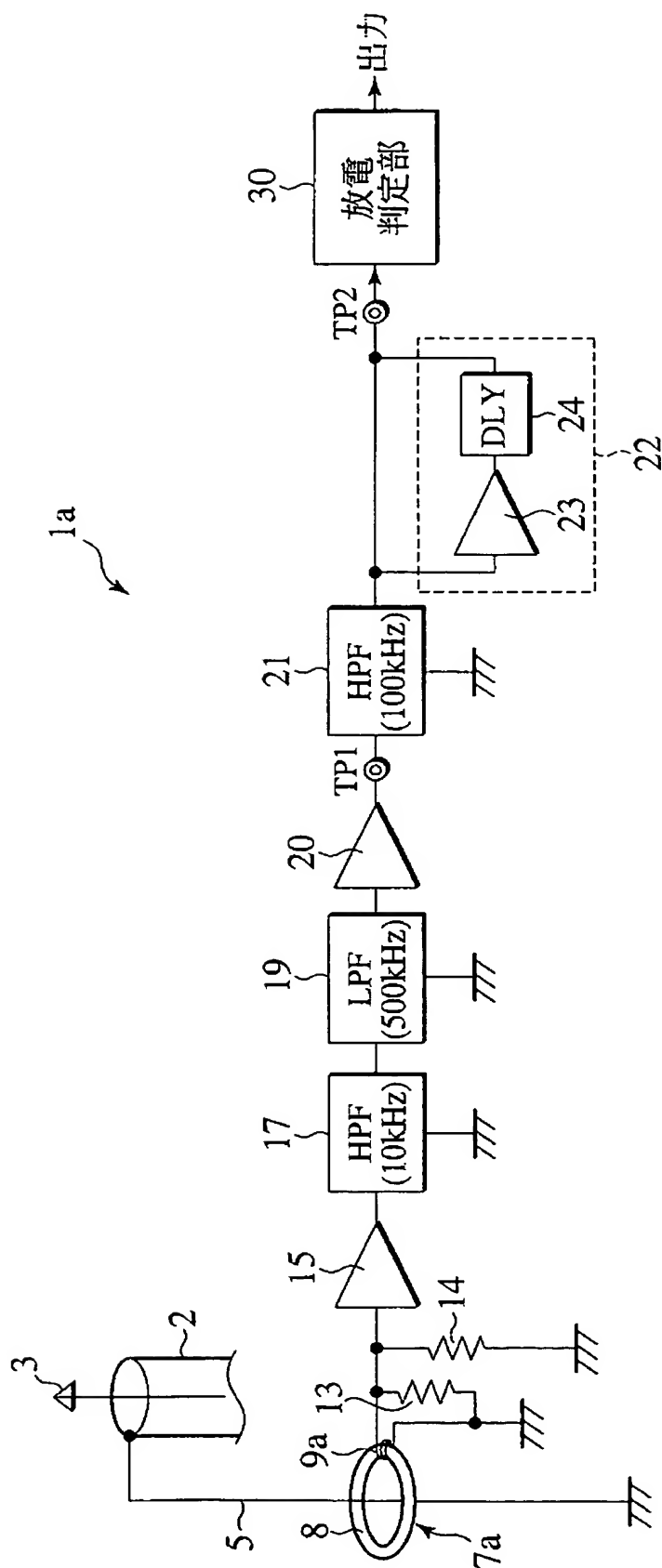


[図2]

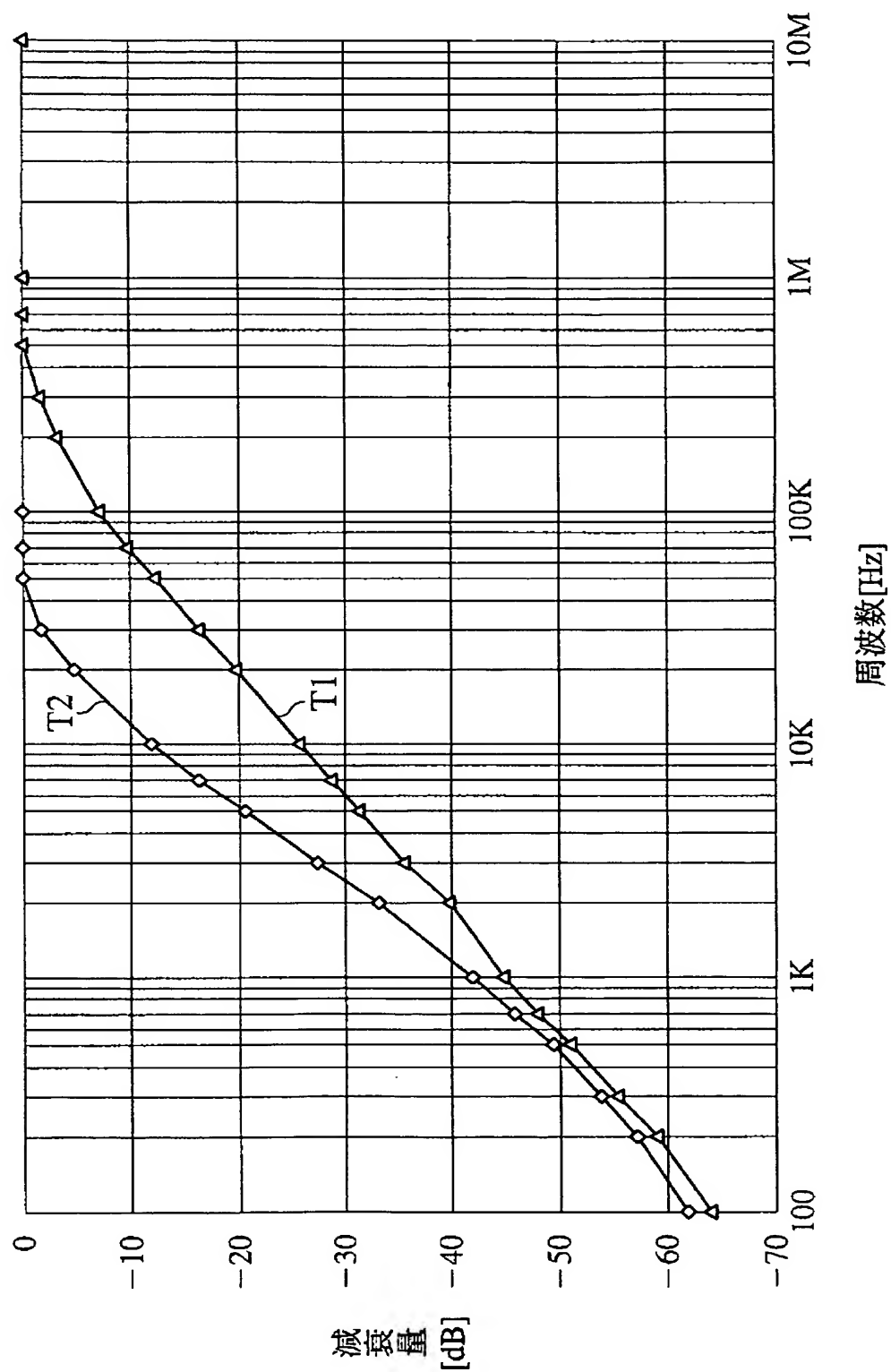
## PRIOR ART



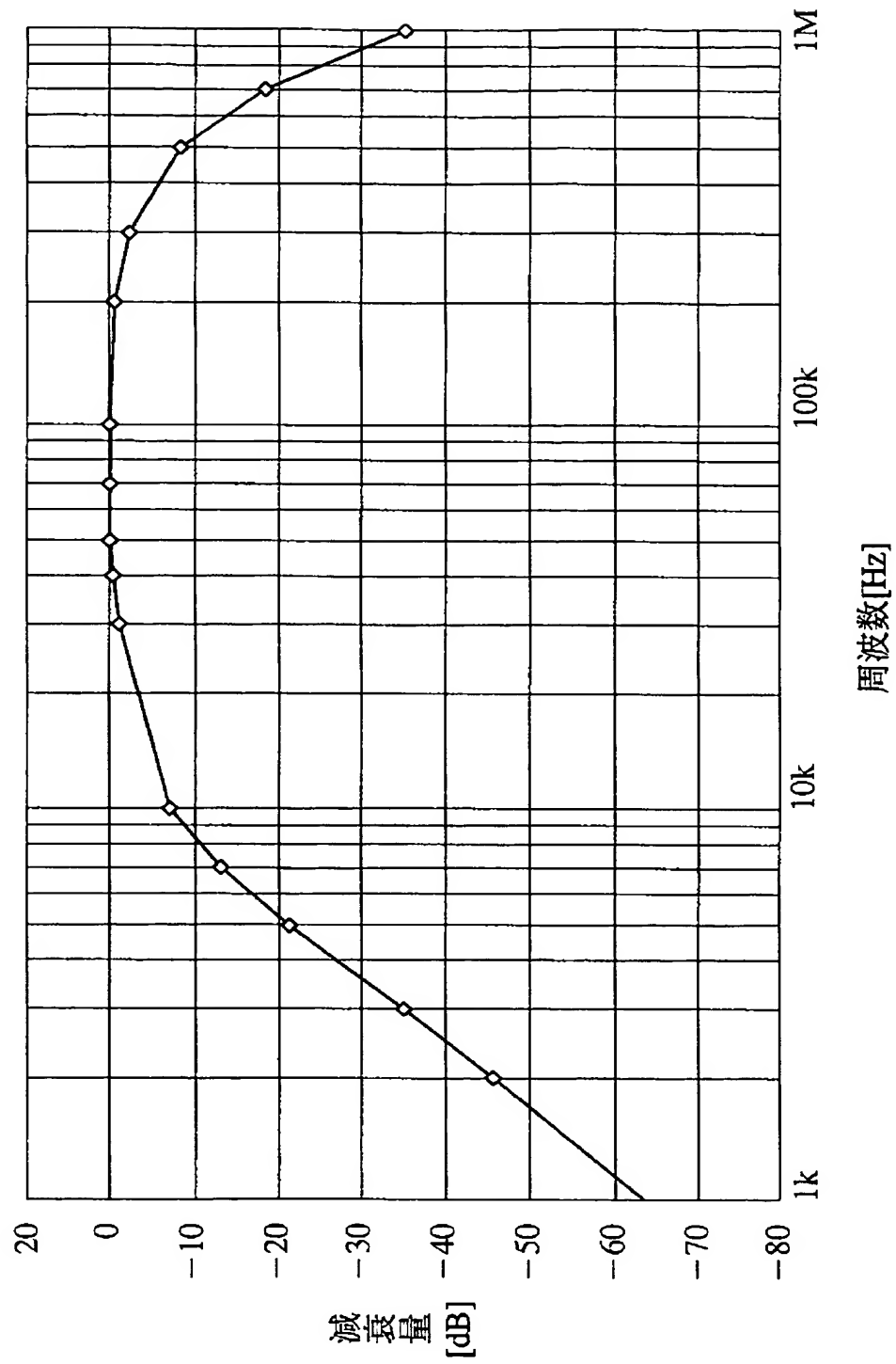
[図3]



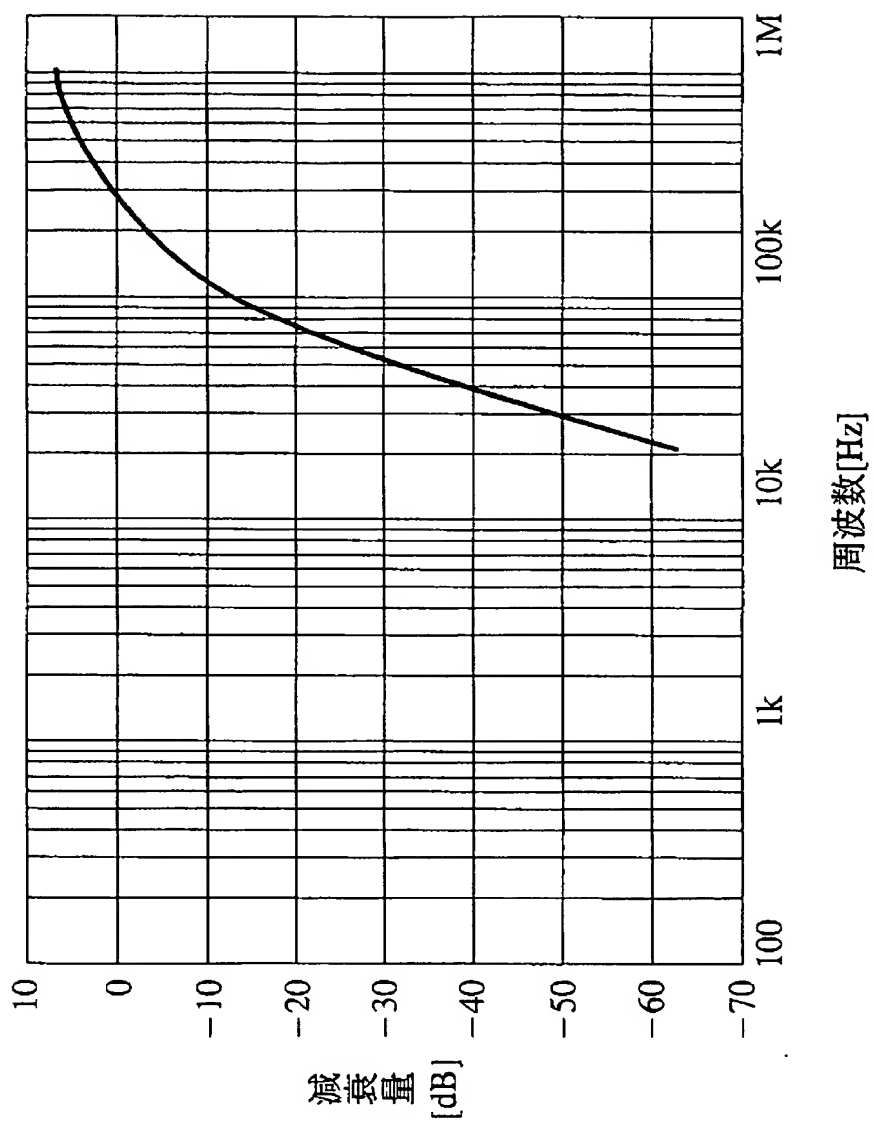
[図4]



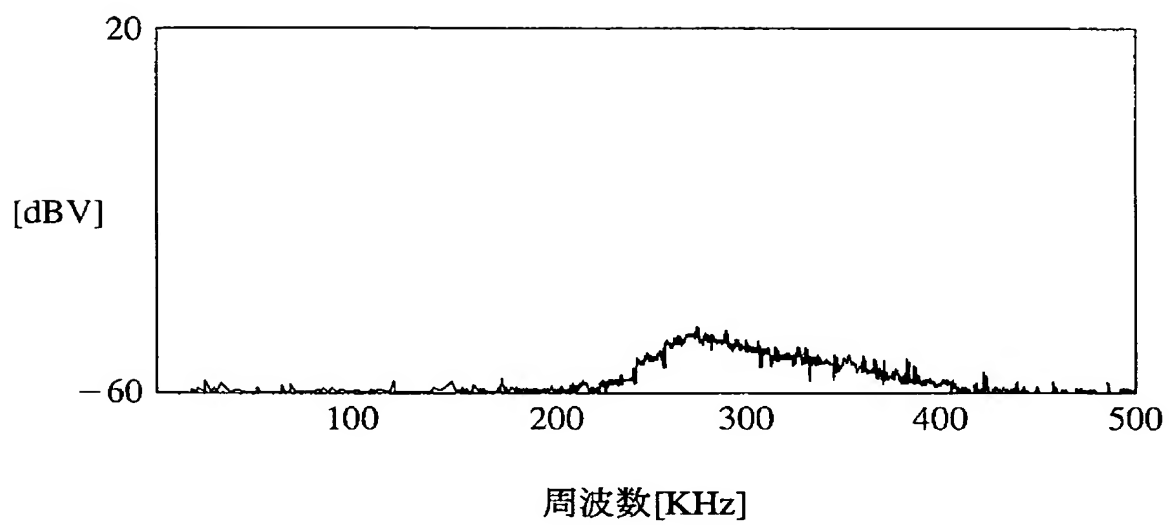
[図5]



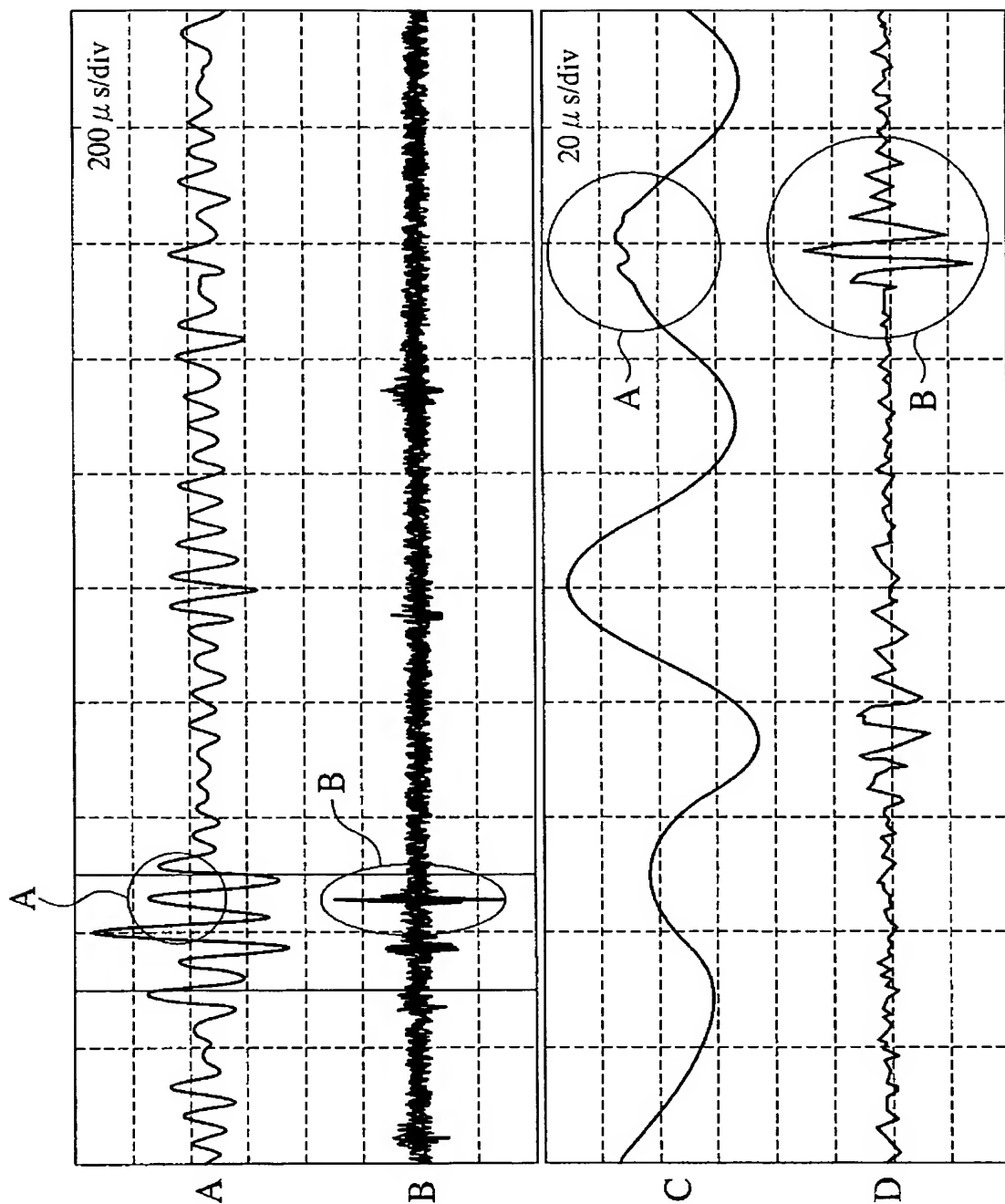
[図6]



[図7]

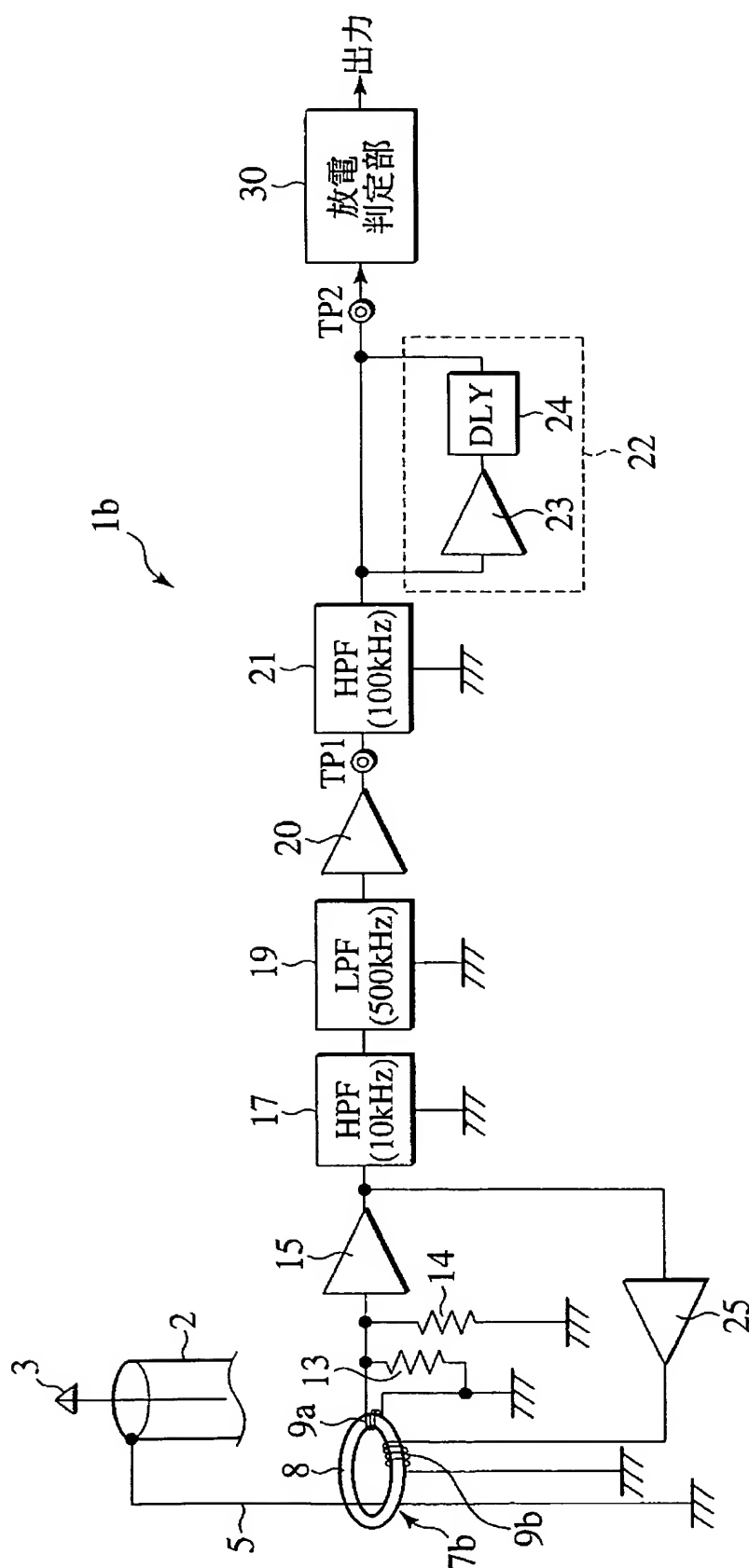


[図8]

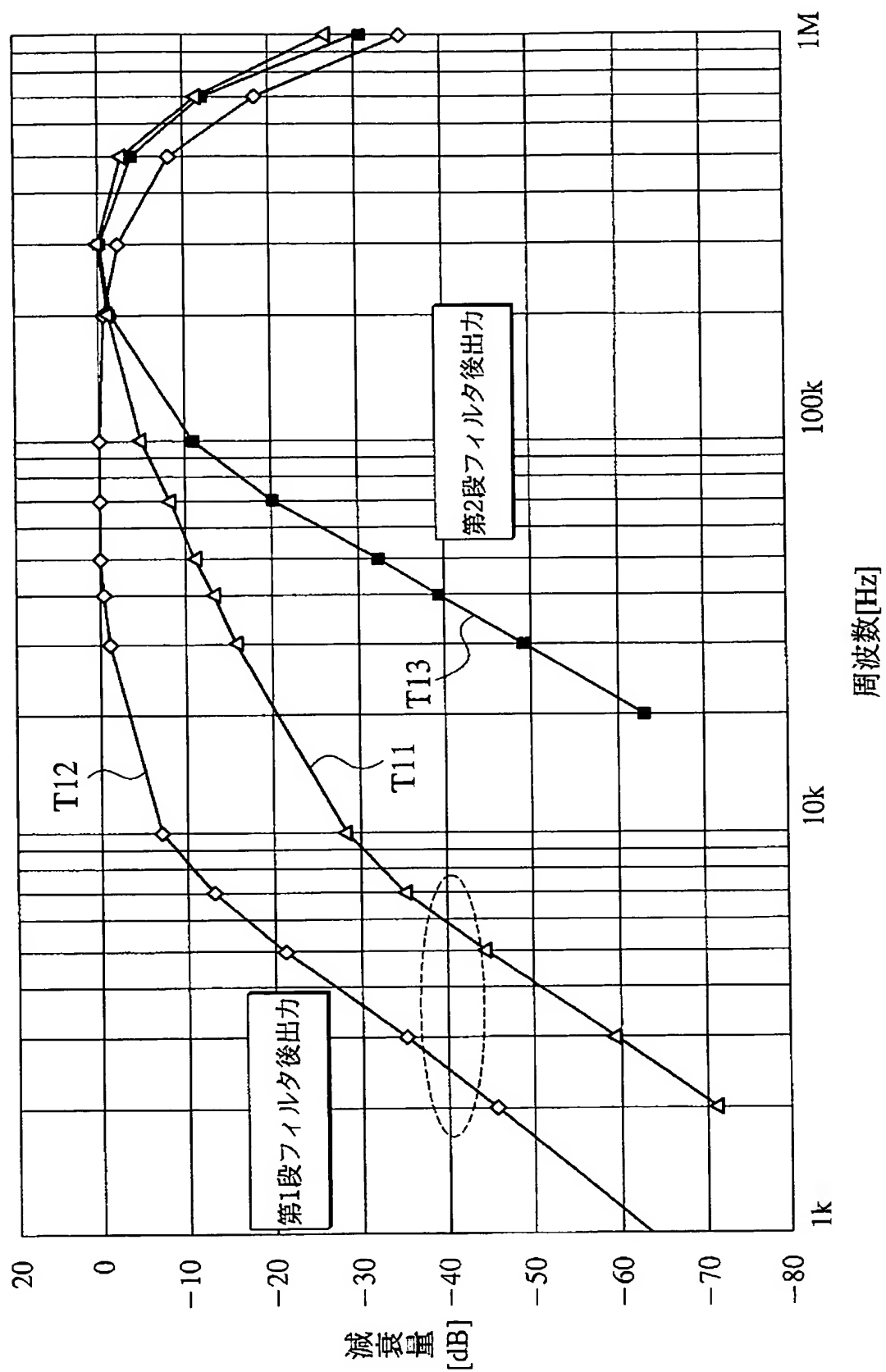


時間

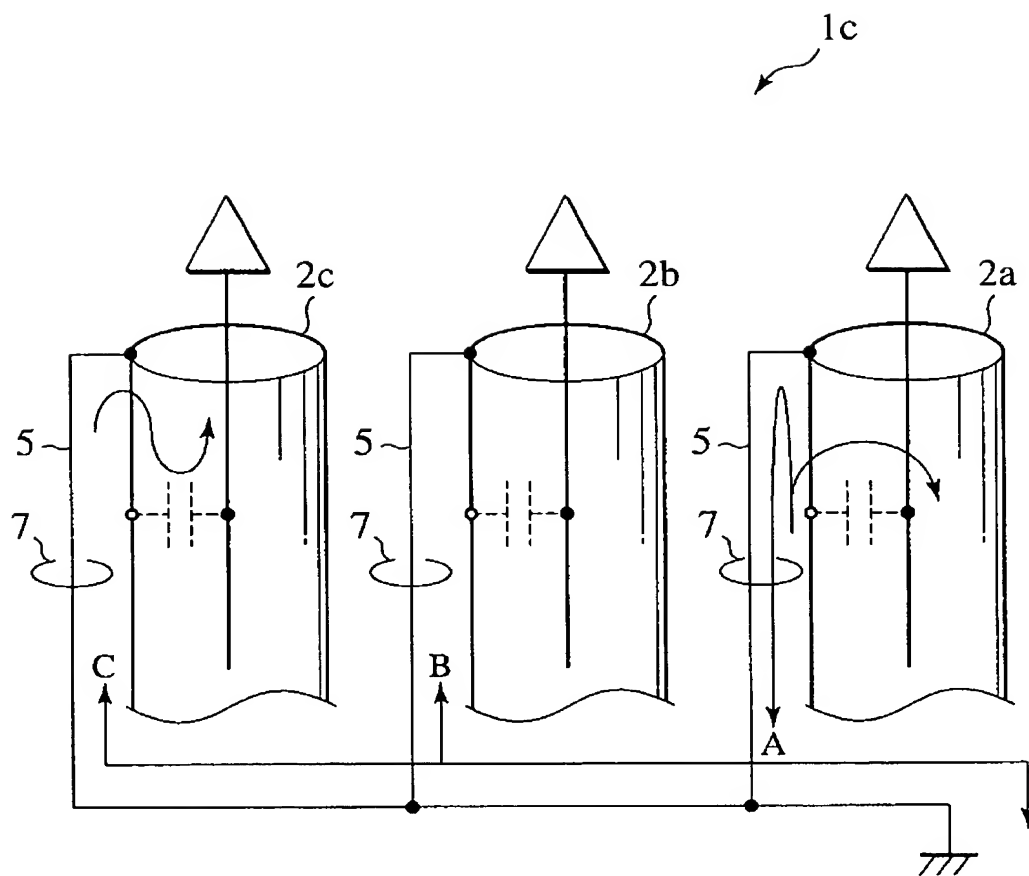
[図9]



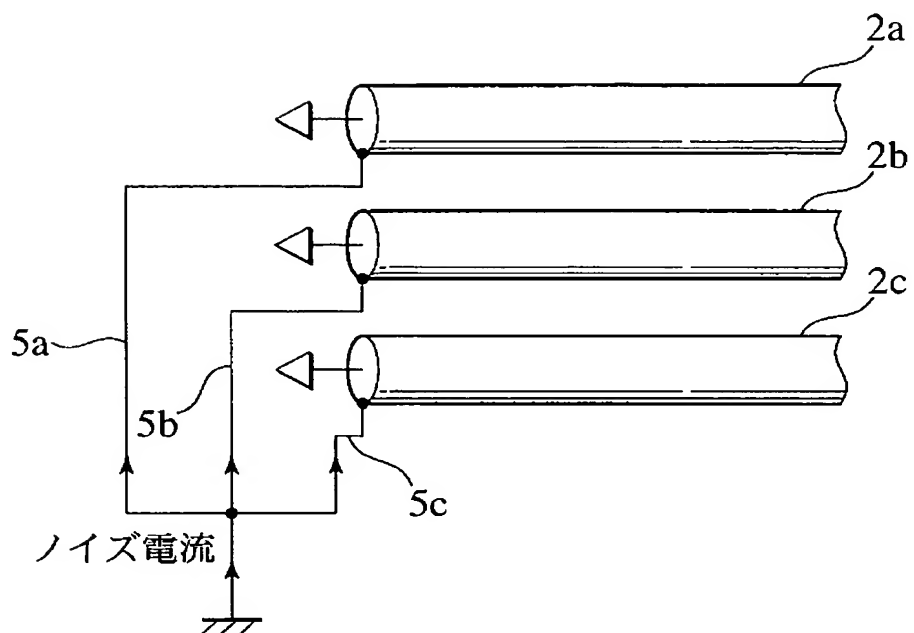
[図10]



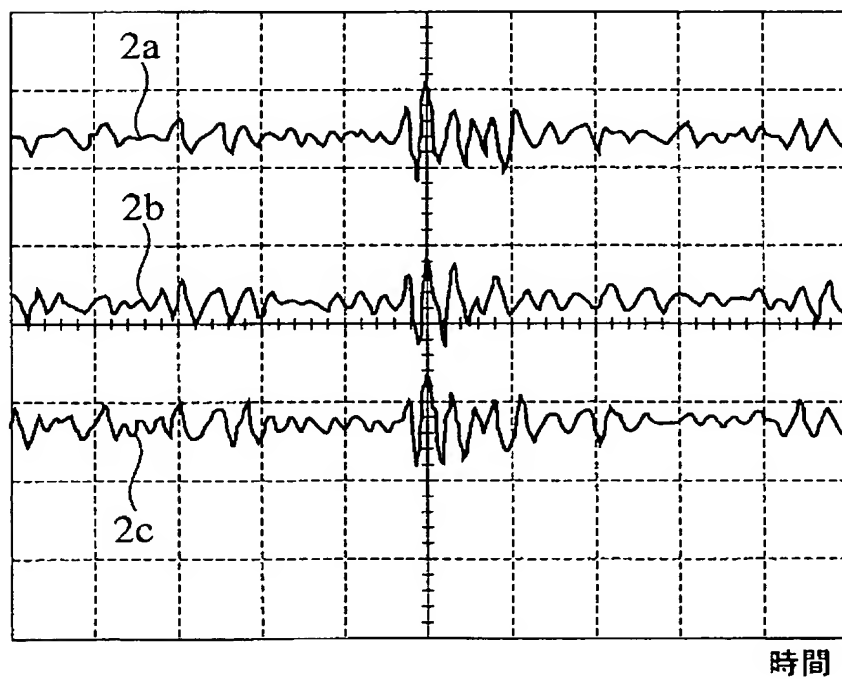
[図11]



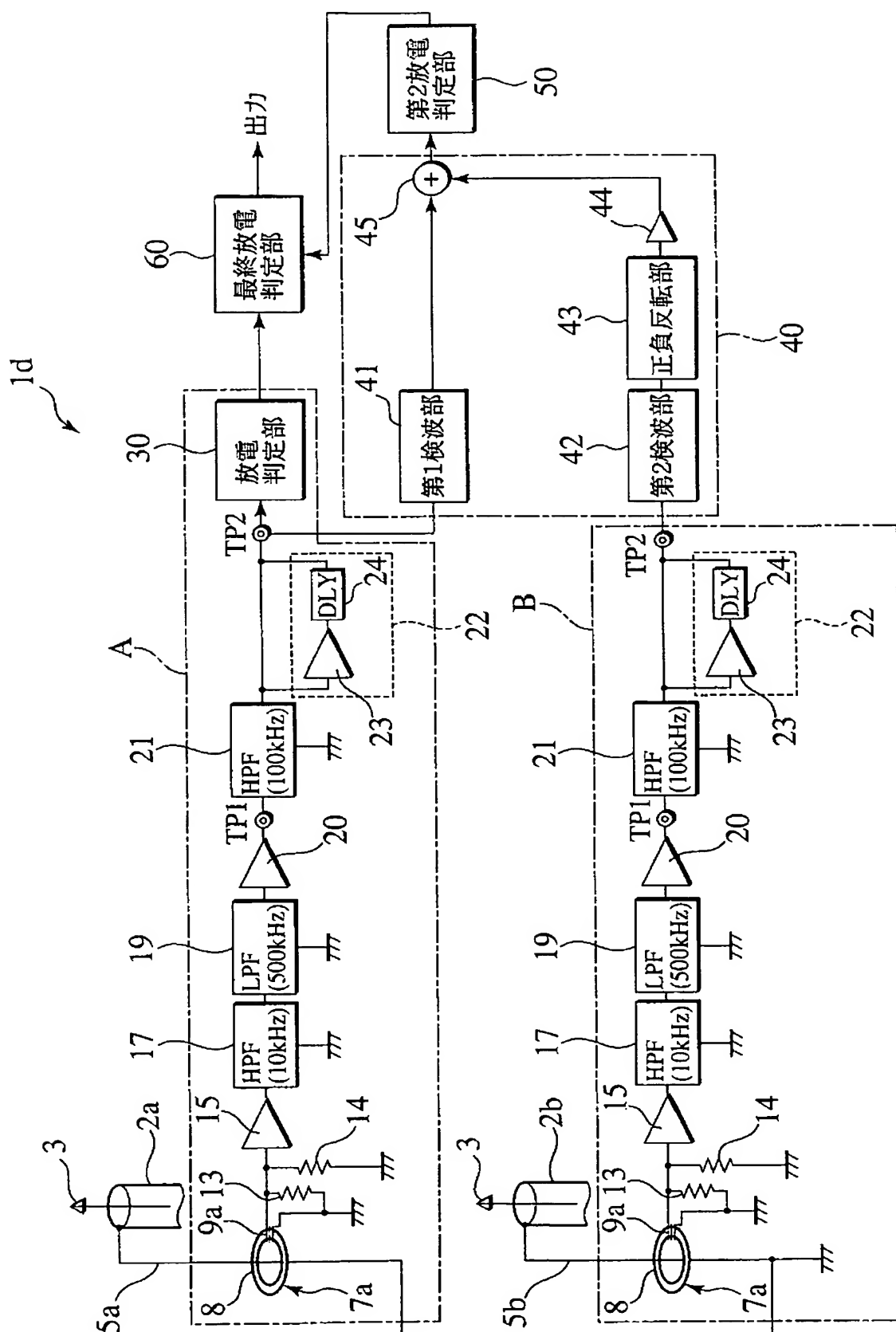
[図12]



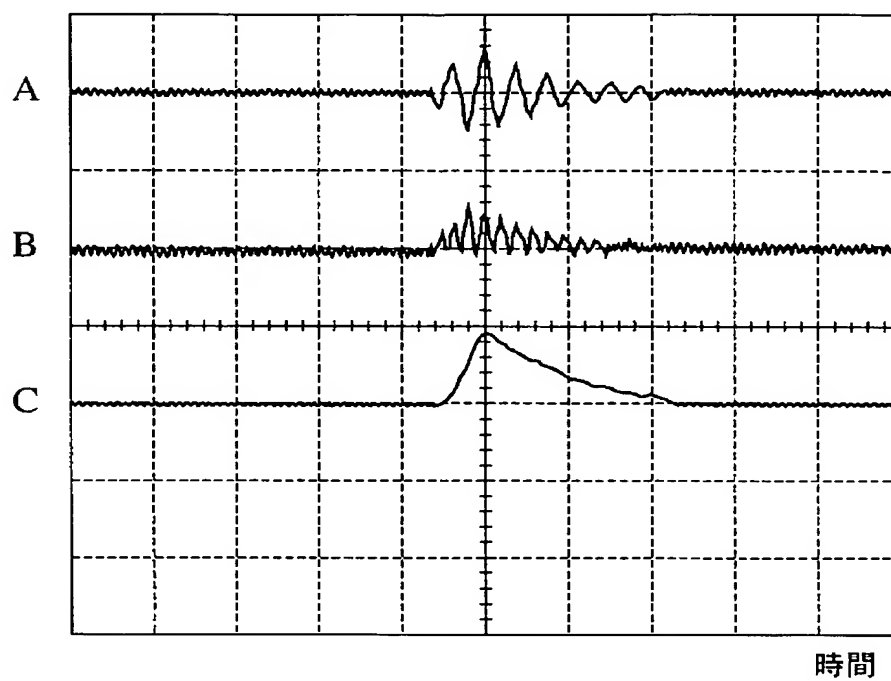
[図13]



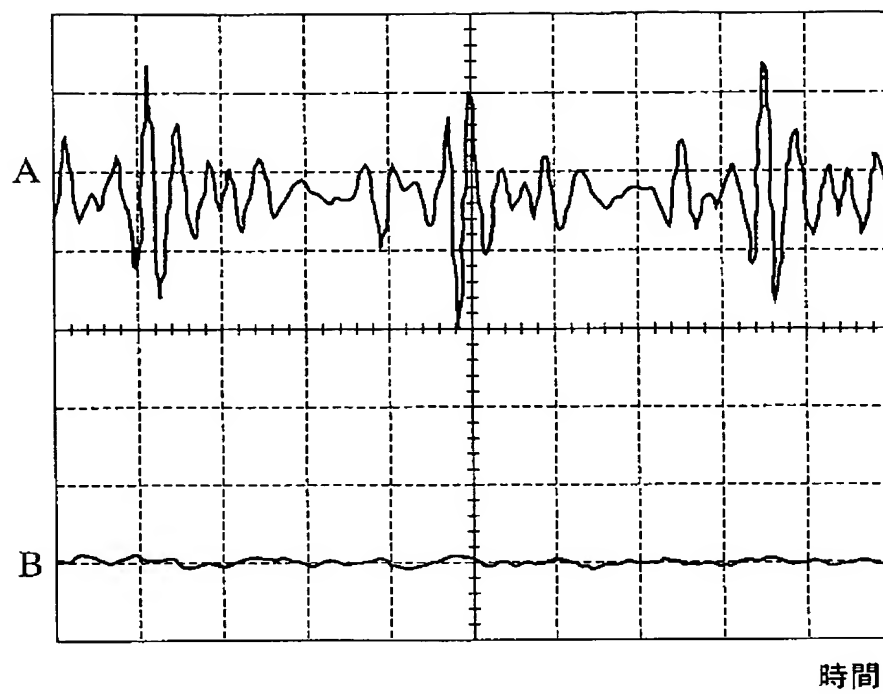
[図14]



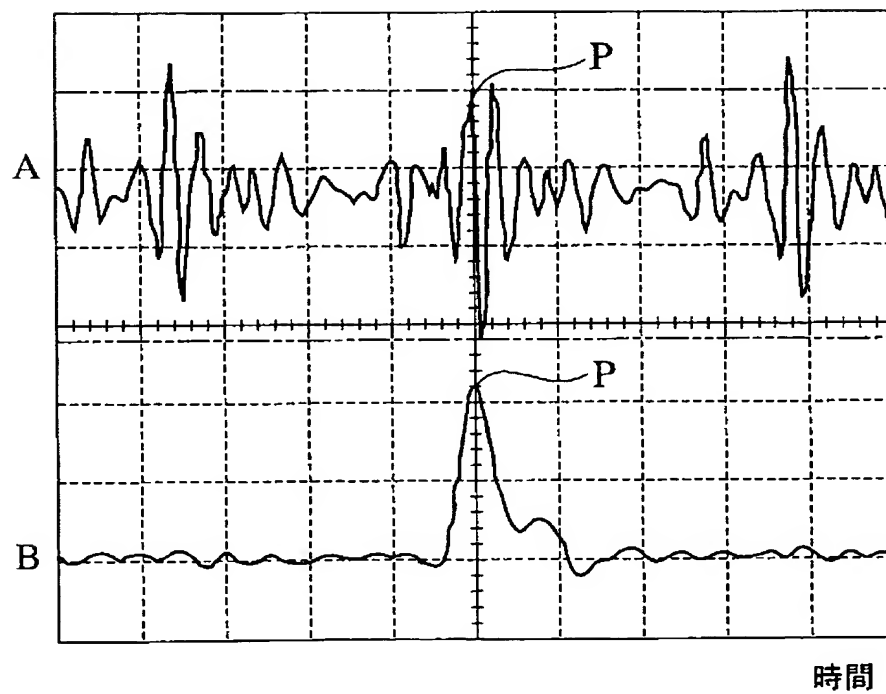
[図15]



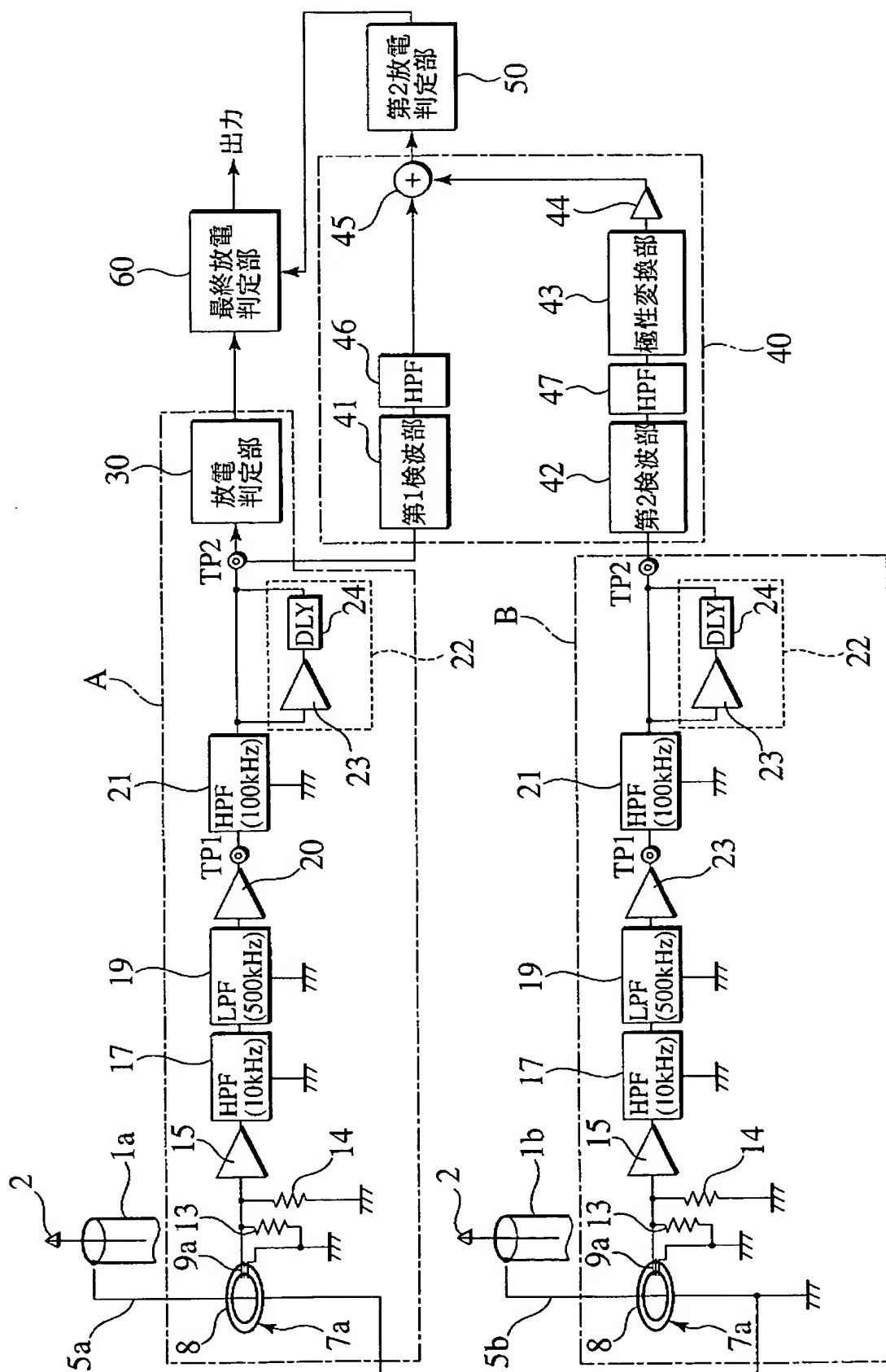
[図16]



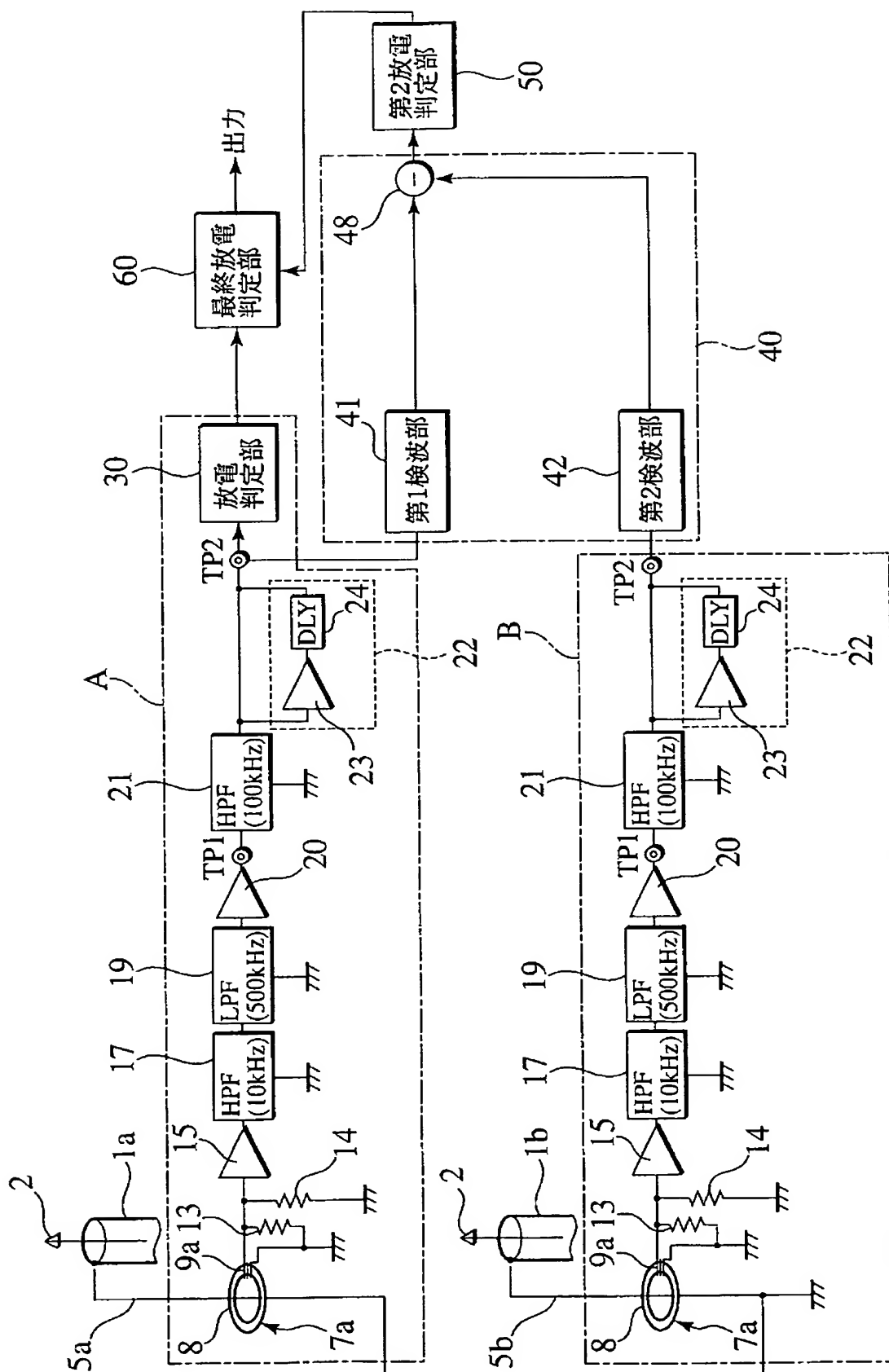
[図17]



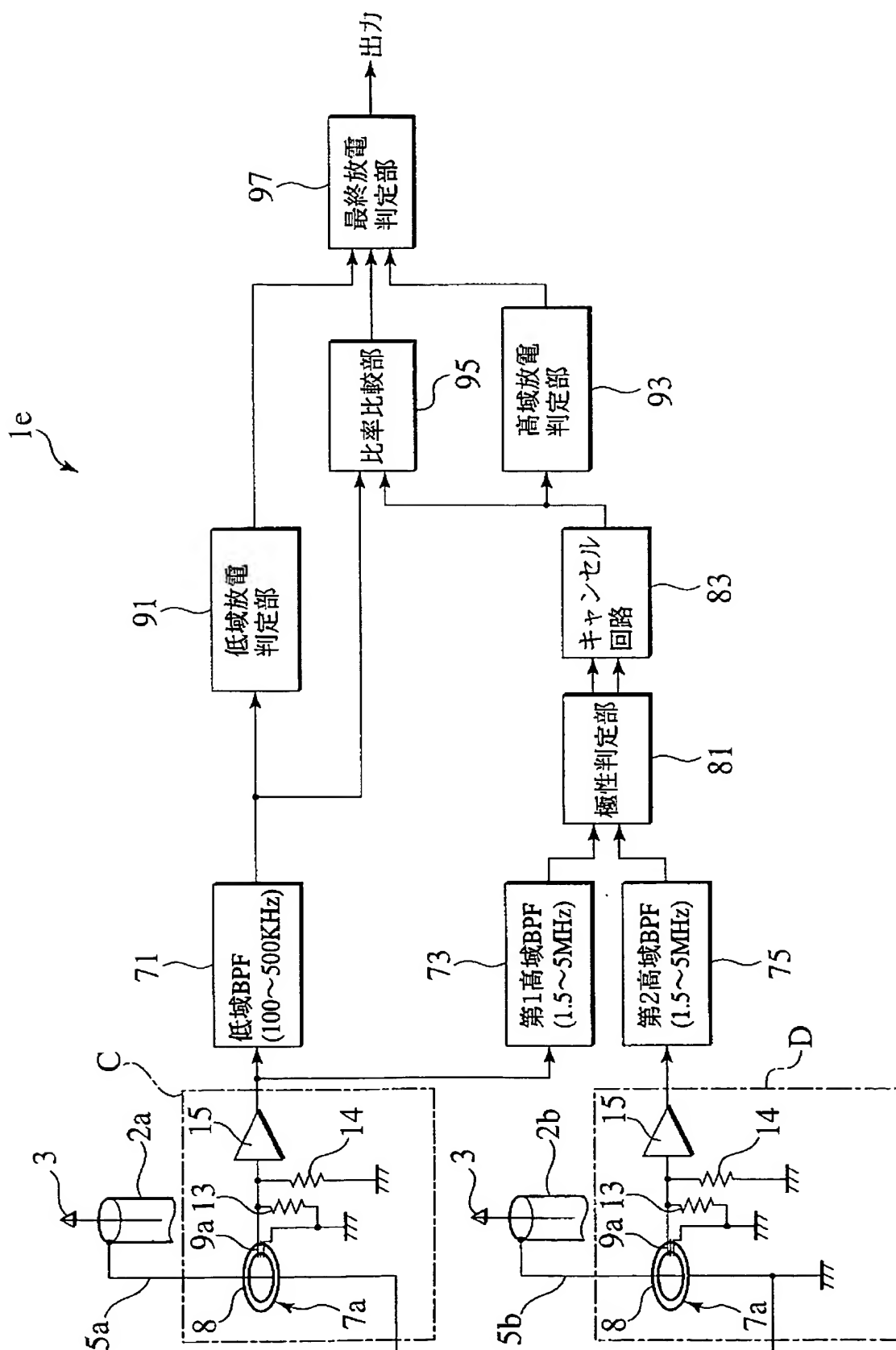
[図18]



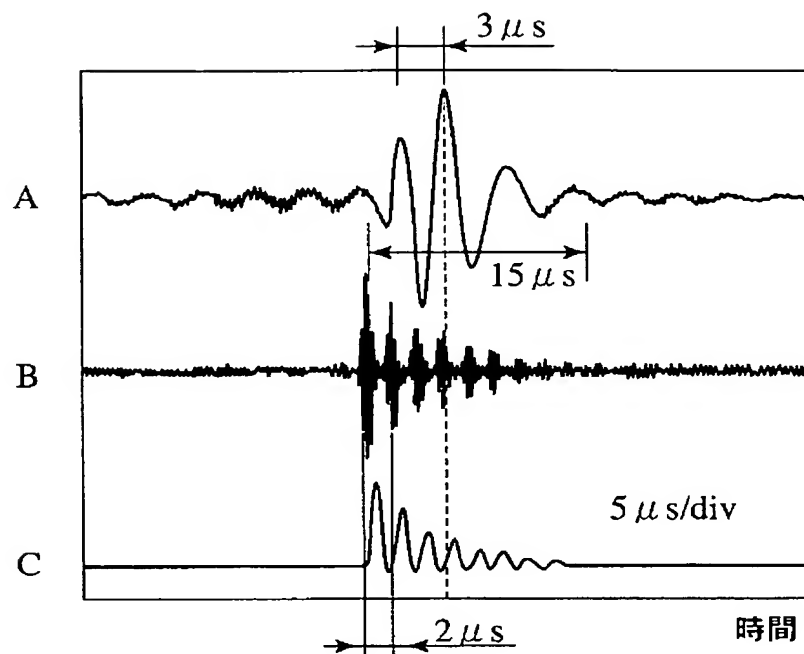
[図19]



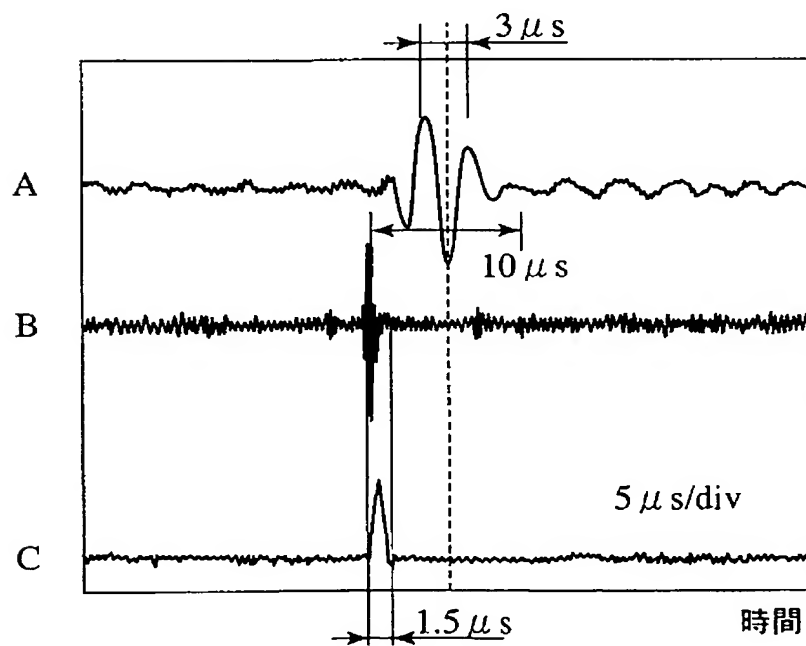
[図20]



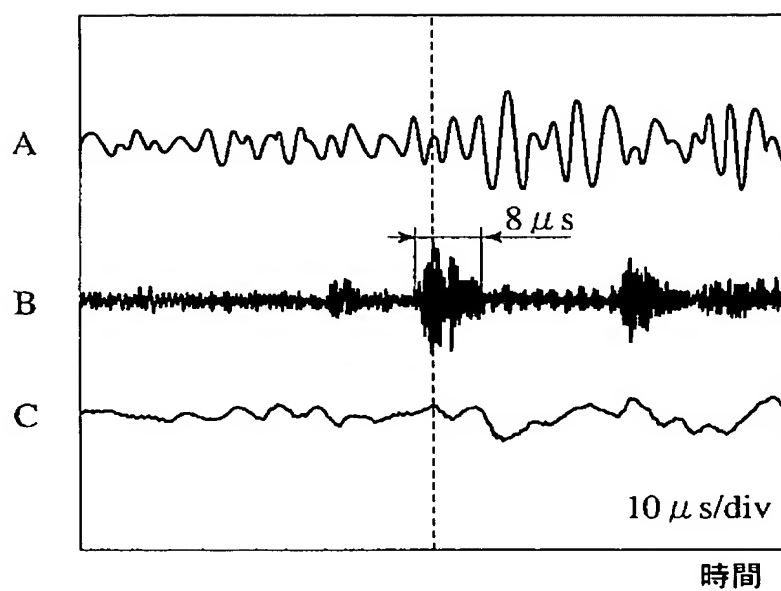
[図21]



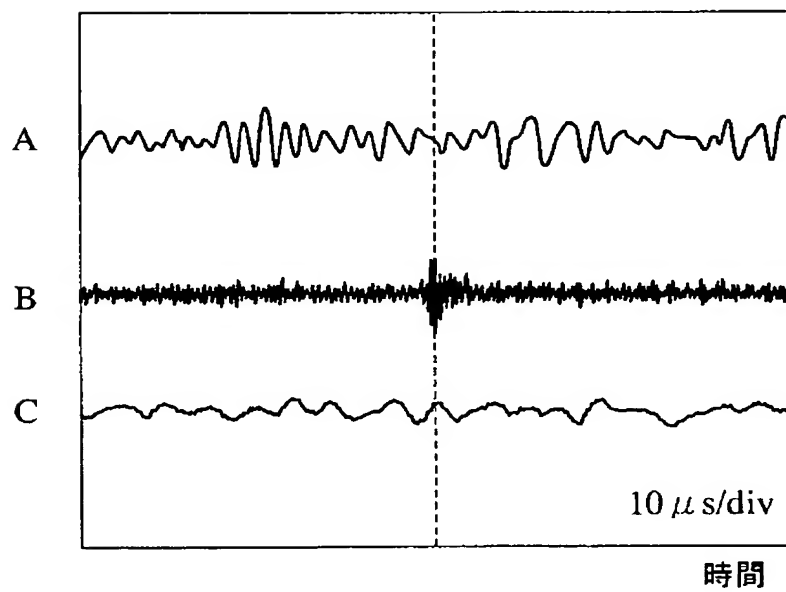
[図22]



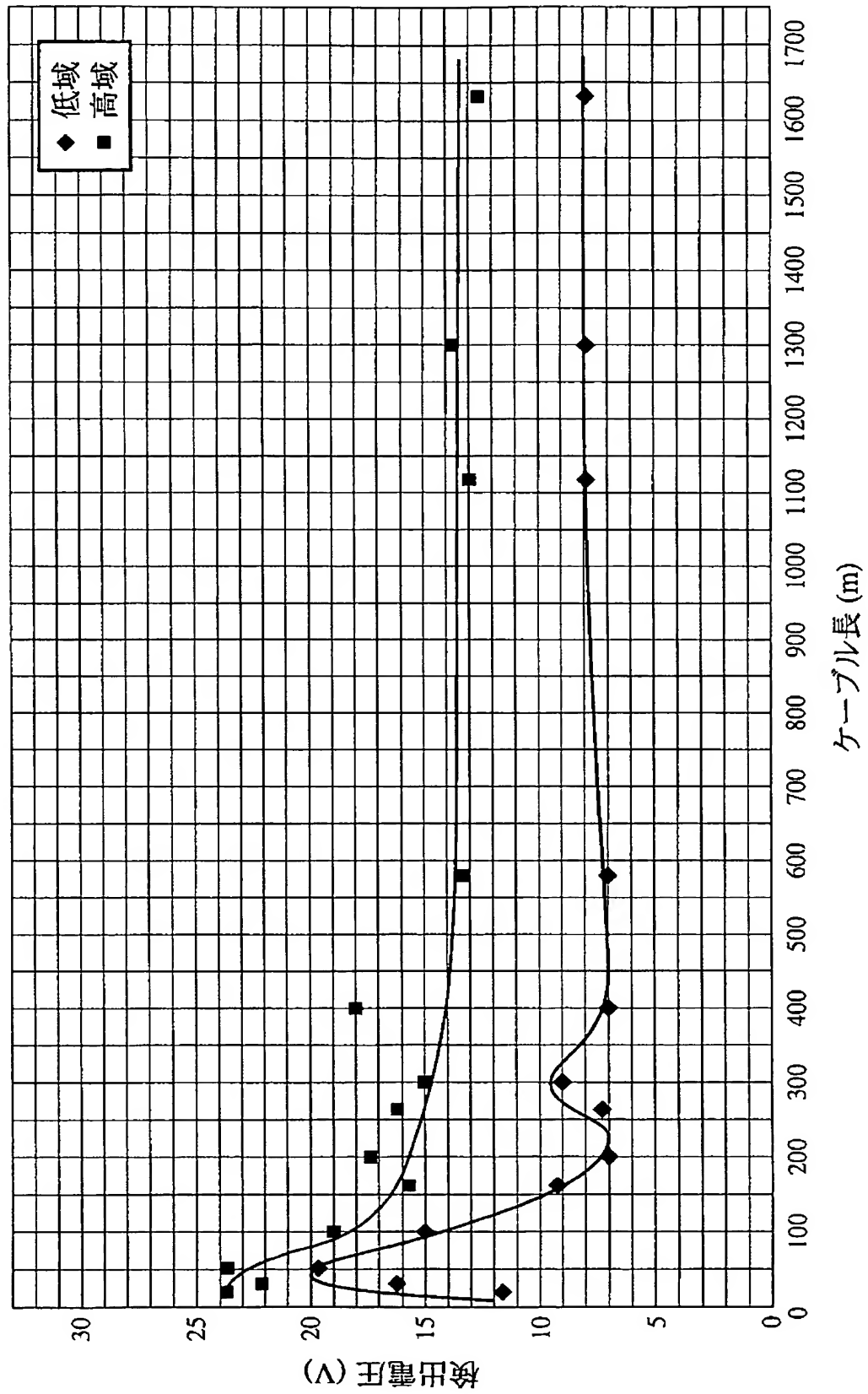
[図23]



[図24]



[図25]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/015631

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> Int.Cl <sup>7</sup> G01R31/12		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl <sup>7</sup> G01R31/12-31/20, G01R15/00-19/32		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 58-5677 A (Showa Electric Wire & Cable Co., Ltd.), 13 January, 1983 (13.01.83), Page 2, upper left column, lines 1 to 18; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-13
A	JP 5-60827 A (Mitsui Petrochemical Industries, Ltd.), 12 March, 1993 (12.03.93), Par. No. [0038]; Fig. 2 (Family: none)	10
E, A	JP 2004-347424 A (Fujikura Ltd.), 09 December, 2004 (09.12.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-13
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 January, 2005 (18.01.05)		Date of mailing of the international search report 08 February, 2005 (08.02.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2004/015631

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E, A	JP 2004-85479 A (Central Research Institute of Electric Power Industry), 18 March, 2004 (18.03.04), Par. Nos. [0047] to [0048]; Fig. 7 (Family: none)	3

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl. <sup>7</sup> G01R31/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> G01R31/12-31/20, G01R15/00-19/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2005年

日本国実用新案登録公報 1996-2005年

日本国登録実用新案公報 1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 58-5677 A (昭和電線電纜株式会社) 1983. 01. 13, 第2頁左上欄第1-18行, 第1-4図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 5-60827 A (三井石油化学工業株式会社) 1993. 03. 12, 段落【0038】, 図2 (ファミリーなし)	10
EA	JP 2004-347424 A (株式会社フジクラ) 2004. 12. 09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-13

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18. 01. 2005

国際調査報告の発送日

08. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

篠崎 正

2S

3306

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
EA	J P 2004-85479 A (財団法人電力中央研究所) 2004. 03. 18, 段落【004.7】-【004.8】, 第7図 (ファミリーなし)	3